

Nauschnegg Daniel

**Konzeptionierung und Planung der Photovoltaik
Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“**

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

WIRTSCHAFTSINGENIEURWISSENSCHAFTEN

Eibiswald, 2010

Erstprüfer: Prof. Dr. rer.oec. Johannes N. Stelling

Zweitprüfer: Dr. Wolfgang Horn

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Vorwort

Im Zuge meiner beruflichen Tätigkeit beschäftige ich mich schon seit Jahren mit der Errichtung von Photovoltaikanlagen. Gemeinsam mit meinem Bruder und meinem Vater betreiben wir ein kleines Familienunternehmen.

Die Idee einer großen Photovoltaik Anlage mittels einer Beteiligungsfinanzierung zu errichten besteht bereits einige Jahre. Im Zuge meines Studiums hörte und lernte ich, wie Investitionen richtig berechnet, bewertet und finanziert werden können. Dies bildete die Grundlage für die Konzeptionierung und Planung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage

Ganz besonders möchte ich mich bei meinem Vater und Chef Walter Nauschnegg und bei Herrn Dr. Wolfgang Horn für die Unterstützung bei der Planung dieser Photovoltaik Gemeinschaftsanlage bedanken.

Eibiswald, September 2010

Nauschnegg Daniel

Inhaltsverzeichnis

I.	Abkürzungsverzeichnis	III
II.	Abbildungsverzeichnis	IV
III.	Tabellenverzeichnis	V
1.	Einleitung	1
1.1.	Ausgangssituation	2
1.2.	Zielsetzung	3
1.3.	Methodisches Vorgehen	3
2.	Die Technische Ausführung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage	6
2.1.	Grundlagen der Stromerzeugung aus Sonnenstrahlen mit Photovoltaik	6
2.1.1.	Die Entwicklung der Photovoltaik	6
2.1.2.	Ökologie einer Photovoltaikanlage	8
2.1.3.	Die Ressourcenverfügbarkeit von Silizium für die Photovoltaikproduktion	9
2.1.4.	Die Umweltbelastung durch Photovoltaik	10
2.1.5.	Das Recycling von Photovoltaikanlagen	11
2.1.6.	Die Sonnenstrahlung	12
2.1.7.	Funktionsweise einer Photovoltaikzelle	13
2.1.8.	Die technischen Unterschiede der Module	14
2.1.9.	Ausrichtung der Module	15
2.1.10.	Schatten vermindert Energieertrag	16
2.1.11.	Anlagengüte - Performance Ratio PR	17
2.1.12.	Die Kenngrößen von Photovoltaikanlagen	17
2.2.	Die Montagekomponenten der Gemeinschaftsanlage	19
2.2.1.	Das Nachführsystem	20
2.2.2.	Die Module	22
2.2.3.	Wechselrichter	23
2.3.	Der Energieertrag der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage	24
2.3.1.	Berechnung der erzeugten Energie pro Jahr	25
2.3.2.	CO ₂ Einsparung pro Jahr	26
3.	Projektablauf einer Photovoltaikanlage in Österreich	27
3.1.	Gesetzliche Grundlagen	27
3.2.	Genehmigungsverfahren in der Steiermark	28
3.2.1.	Raumordnung	28
3.2.2.	Baurechtliche Bewilligung	28

3.2.3.	Elektrizitätsrechtliches Verfahren	29
3.2.4.	Anerkennung der Ökostromanlage	30
3.2.5.	Abnahmepflicht der Ökoenergie	30
3.3.	Photovoltaik Förderungen in Österreich	30
3.3.1.	Investitionsförderungen	31
3.3.2.	Tarifförderung	32
3.3.3.	Förderung des Landes Steiermark	33
4.	Die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage	34
4.1.	Die Investitionskosten der Photovoltaikanlage	35
4.2.	Betriebskosten der Photovoltaik Anlage	37
4.3.	Die Ertragssituation der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage	38
4.4.	Investitionsrechnung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage	41
4.4.1.	Kapitalwertmethode	42
4.4.2.	Annuitätenmethode	47
4.4.3.	Dynamische Amortisationsrechnung	49
4.4.4.	Interne Zinsfußmethode	49
5.	Beteiligungsmodell der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“	51
5.1.	Art der Beteiligung	51
5.2.	Rechtlicher und steuerlicher Aspekt	52
5.3.	Vorteile- und Risiken der Gemeinschaftsanlage	53
6.	Ausblick und Schlussbemerkung	54
6.1.	Zusätzliche Vermarktung des Energieparks	55
6.2.	Zukünftige Ausbaupläne	56
6.3.	Schlussbemerkung	56
IV.	QUELLENVERZEICHNIS	VI
V.	Anhang	XI
VI.	Eidesstattliche Erklärung	XV

I. Abkürzungsverzeichnis

AC	Wechselstrom
a_0	Anschaffungswert
a_k	Auszahlungen der Periode K
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
C_0	Kapitalbarwert
C_{01}	Kapitalbarwert bei Versuchszinssatz 1
C_{02}	Kapitalbarwert bei Versuchszinssatz 2
d	Annuität
DC	Gleichstrom
e_k	Einzahlungen in der Periode K
f_{Neigung}	Neigungsverlust
H_{Solar}	Solare Bestrahlung
i	Zinssatz
i_1	Versuchszinssatz 1
i_2	Versuchszinssatz 2
i_{int}	interne Verzinsung
K_0	Barwert
K_n	Endwert
kWh	Kilowattstunde
kWp	Maximalleistung/ Spitzenleistung
L	Liquidationserlös
n	Nutzungsdauer in Jahren
η	Wirkungsgrad
q	Zinsfaktor
USt	Umsatzsteuer
W	Watt (Leistung)

II. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die Marktentwicklung der Photovoltaik in Österreich.....	8
Abb. 2: Weltweite Siliziumproduktion	9
Abb. 3: Sonneneinstrahlung in Österreich	13
Abb. 4: Aufbau und Funktionsschema einer kristallinen Solarzelle.....	14
Abb. 5: Neigungswinkel	16
Abb. 6: Strom- Spannungskennlinie.....	18
Abb. 7: Nachgeführte Photovoltaikanlage.....	20
Abb. 8: Sanyo Hochleistungsmodul	22
Abb. 9: Fronius Wechselrichter	23
Abb. 10: Netzgekoppelte Photovoltaikanlage	25
Abb. 11: Kostenaufteilung PV-Anlage.....	35
Abb. 12: Schema Barwert mit einmaliger Zahlung	43
Abb. 13: Schema Barwert mit mehrmaliger Zahlung.....	44

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wirkungsgrade kristalliner Siliziumzellen	15
Tabelle 2: Performance Ratio für netzgekoppelte PV-Anlagen	17
Tabelle 3: Wichtige Kenngrößen für PV-Module	19
Tabelle 4: Art und Ausmaß der Förderung.....	34
Tabelle 5: Investitionskosten der Photovoltaik-Gemeinschaftsanlage .	36
Tabelle 6: Betriebskostenermittlung.....	37
Tabelle 7: Auflistung jährliche Betriebskosten	38
Tabelle 8: Ertragsberechnung Photovoltaik Gemeinschaftsanlage	39
Tabelle 9: Auflistung der jährlichen Barwerte.....	46
Tabelle 10: Dynamische Amortisationsrechnung	49

1. Einleitung

Die Strahlungsenergie unserer Sonne ist die einzige unerschöpfliche Energiequelle der Menschheit. Täglich erreicht ein Vieltausendfaches des menschlichen Bedarfs an Primärenergie in Form von elektromagnetischer Strahlung die Erde.

Unsere Bevölkerung und auch die Energiewirtschaft machen inzwischen dank staatlicher Förderungen regen Gebrauch von dieser Art der Energiegewinnung. Zwar ist die Energiedichte der Sonnenstrahlung auf der Erde, verglichen z.B. mit dem Energiefluss im Brennraum einer Turbine, gering, aber immer größere Kreise der Öffentlichkeit zeigen sich gegenüber einer aus regenerativen Quellen stammenden Stromversorgung aufgeschlossen.¹

Photovoltaik ist neben Wind- und Wasserenergie, Solarthermie und Biomasse zweifellos der kleinste Anteil (0,04%) an der Stromerzeugung, aber mit bemerkenswerten Wachstumsziffern. Die EPIA (Europäische Vertretung der PV-Industrie) geht davon aus, dass bis zum Jahr 2020 rund 12% des europäischen Strombedarfs via Photovoltaik gedeckt werden. Dieser Wert wird auch von der EU-Kommission als Richtwert anerkannt. Im internationalen Vergleich hat Österreich großen Rückstand, was die Nutzung von Sonnenstrom betrifft. Ziel der Photovoltaik Austria (PVA) ist es, den Stromanteil der Photovoltaik in Österreich bis 2020 von derzeit 0,04% auf 8% zu steigern.² Die Photovoltaik kann andere Energieträger nicht verdrängen, wird aber innerhalb des Energiemixes der Zukunft zunehmend ihren Platz einnehmen.

Dennoch ist für viele Österreicher das Thema Photovoltaik uninteressant. Sei es, dass die örtlichen Gegebenheiten nicht optimal sind, unzureichende Informationen eingeholt wurden, oder das Verhältnis von Investi-

¹ Vgl.: Steiner Christian: Mit der Sonne wächst die Wonne, Ökosolares Bauen und Wohnen, Bautrends, Der Standard, Fachbeitrag, Wien, Februar 2008, S.B3

² Vgl.: Bundesverband Photovoltaic Austria, Url: http://www.pvaustria.at/upload/1855_PV-im-Oekostromgesetz-2009-09-10.pdf [05.09.2010]

onskosten und Amortisationszeit bzw. Gewinn noch nicht verlockend genug ist.

1.1. Ausgangssituation

Im Jahre 2003 errichtete mein Vater eine dachintegrierte Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 5kWp für unseren eigenen Strombedarf. Bereits zwei Jahre später folgte eine nachgeführte 2,5kWp Photovoltaikanlage, welche für die Einspeisung ins öffentliche Netz erbaut wurde.

Die jahrelange Erfahrung meines Vaters im Bereich der Photovoltaik und meine betriebswirtschaftliche Ausbildung bilden die optimale Basis für das Projekt „Energiepark Großradl“. Wir möchten mit dieser Gemeinschaftsanlage ein Zeichen in unserer Region setzen. Strom aus Photovoltaik fördert nicht nur den Klimaschutz, sondern vor allem ein Projekt in dieser Größe, regt die Bevölkerung zum Umdenken an.

Unsere Vision für den „Energiepark Großradl“ ist es, mit der uns kostenlos zur Verfügung gestellten Sonnenenergie, Strom zu erzeugen, um damit die Umwelt zu entlasten und eine Verbindung zwischen Technik und Show, mit Naturerleben zu schaffen.

Die Mission dazu ist, Photovoltaik der Allgemeinheit deutlich sichtbar zu machen. Jeder soll sehen, lernen und erfahren wie die Technik der Photovoltaik funktioniert und die technischen Parameter dahinter auf einfache Weise verstehen.

Ein weiterer Grund ist, dass viele Menschen in unserer Region Interesse an einer Photovoltaikanlage hätten, jedoch die örtlichen Gegebenheiten nicht optimal sind und man dadurch vom Bau einer eigenen Photovoltaikanlage abraten muss. Mit der Gemeinschaftsanlage hätten diese Personen eine Möglichkeit, sowohl an der Entstehung, als auch am folgenden wirtschaftlichen Ertrag Anteil zu haben.

Zusätzlich sollte die Gemeinschaftsanlage für Interessierte Personen in der Region ein Investitionsobjekt sein, mit dem sie ihr Geld gewinnbringend und mit geringem Risiko anlegen können und als Zusatzeffekt noch

nachhaltig etwas für den Klimaschutz tun. In diesem Sinne ist die Finanzierung für das Projekt „Energiepark Großradl“ in Form einer „Bausteinbeteiligung“ angedacht.

Die genauen Berechnungen sowie den rechtlichen Hintergrund dazu finden Sie im Kapitel 4. Die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage sowie im Kapitel 5. Beteiligungsmodell der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“.

1.2. Zielsetzung

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Konzeptionierung und Planung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“ und somit die Darstellung aller technischen sowie betriebswirtschaftlichen Parameter, die den zukünftigen wirtschaftlichen Erfolg des Projekts der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“ beeinflussen.

Weiters wird in dieser Diplomarbeit berechnet, ob sich das Beteiligungsmodell, welches den folgenden Berechnungen zugrundegelegt wird, rentabel ist bzw. was eine Alternativveranlagung an Kapital erwirtschaften würde.

Mit Hilfe dieser Diplomarbeit ist es somit möglich, allgemein betrachtet, die Entscheidung für oder gegen das Projekt Photovoltaik Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“ zu treffen.

1.3. Methodisches Vorgehen

Im Kapitel 2. Die technische Ausführung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage, beschäftige ich mich mit drei größeren Unterkapiteln. Unter 2.1. Grundlagen der Stromerzeugung aus Sonnenstrahlen mit Photovoltaik, wird die Entwicklung der Photovoltaik allgemein sowie die aktuelle Entwicklung in Österreich näher erläutert. Auf die Thematik der Ökologie von Photovoltaikanlagen möchte ich ganz besonders eingehen, da vor allem die Problematik des Recyclens in den nächsten 10 bis 15 Jahren eine wichtige Rolle spielen wird.

Solarzellen bestehen hauptsächlich aus Silizium, welches momentan noch in unbegrenzter Anzahl zur Verfügung steht. Dies kann sich jedoch schlagartig ändern. Aus diesem Grund finden Sie im Unterkapitel 2.1.3. Die Ressourcenverfügbarkeit von Silizium für die Herstellung von Photovoltaikanlagen, genauere Informationen.

In den Unterkapiteln 2.1.6. bis 2.1.12. werden die allgemeinen technischen Parameter, die für das Projekt Photovoltaik Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“ von Relevanz sind dargestellt.

Darunter fallen unter anderem die Funktionsweise von Photovoltaikzellen sowie die technischen Unterschiede der Module, die speziellen Ausrichtungsmöglichkeiten der Module (Neigungswinkel) sowie den Energieertrag vermindernenden Faktor der Verschattung durch Bäume, Sträucher oder ähnliches.

Ein wichtiges Unterkapitel ist die Anlagengüte (Performance Ratio – kurz PR). Sie gibt das Verhältnis zwischen realem Wirkungsgrad zum Nennwirkungsgrad an und kann einen Wert von 0,5 – 0,9 aufweisen. Dieser Wert ist wichtig für die weiteren Berechnungen des „Energiepark Großradl“.

Als letztes werden im Unterkapitel 2.1.12. die Kenngrößen der Photovoltaik beschrieben. Diese Kenngrößen finden sich in Datenblättern von Modulen wieder und vor allem die Formelzeichen sind für die weiteren Berechnungen von Relevanz.

Im Kapitel 2.2. Die Montagekomponenten der Gemeinschaftsanlage, werde ich mich näher mit den einzelnen Montagekomponenten speziell für das Projekt „Energiepark Großradl“ beschäftigen. Hierzu zählen in erster Linie die Ausführung des Nachführsystems, die Auswahl der geeigneten Module sowie die Berücksichtigung eines Wechselrichters.

Im Kapitel 2.3. Der Energieertrag der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage, beschäftige ich mich dann mit der Berechnung der erzeugten Energie pro Jahr sowie den CO₂ Einsparungswerten pro Jahr bezogen auf die Gemeinschaftsanlage.

Im Kapitel 3. Projektablauf einer Photovoltaikanlage in Österreich, wird im Unterkapitel 3.1., die Problematik der gesetzlichen Grundlagen all-

gemein und in Unterkapitel 3.2., die Problematik der einzelnen Genehmigungsverfahren, speziell auf die Steiermark bezogen, aufgezeigt.

Im Unterkapitel 3.3. beschäftige ich mich mit der Photovoltaik Förderlandschaft in Österreich. Welche Unterschiede es zwischen den einzelnen Fördermethoden gibt, entnehmen Sie diesem Kapitel.

Im Kapitel 4. Die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage, beschäftige ich mich mit der Investitionsrechnung im Allgemeinen. Zu Beginn in Kapitel 4.1. werden die Investitionskosten der Photovoltaikanlage näher erläutert. In Kapitel 4.2. werden dann die Betriebskosten für die weiteren Berechnungen ermittelt und in Kapitel 4.3. folgt eine Aufstellung der Erträge aus den einzelnen Betriebsjahren der Photovoltaikanlage.

Im Unterkapitel 4.4 beschäftige ich mich dann mit den unterschiedlichen Investitionsrechenmethoden die speziell für die Berechnungen der Gemeinschaftsanlage von Relevanz sind. Hierzu zählen die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode sowie die dynamische Amortisationsdauer und die interne Zinsfußmethode.

Im Kapitel 5. finden Sie Informationen zur Idee des Beteiligungsmodells für die Photovoltaik Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“. Im Unterkapitel 5.1. stelle ich Ihnen die Art der Beteiligung vor, in Unterkapitel 5.2. folgen die rechtlichen sowie steuerlichen Aspekte betreffend die Beteiligungsform und im Unterkapitel 5.3. habe ich mich mit den Vorteilen und Risiken der Gemeinschaftsanlage beschäftigt.

Im letzten Kapitel, Kapitel 6. Ausblick und Schlussbemerkung, gehe ich kurz auf die weiteren Vermarktungskonzepte des „Energiepark Großradl“ ein und stelle im Unterkapitel 6.2. kurz die zukünftigen Ausbaupläne dar. Im Unterkapitel 6.3. komme ich nun zu meinen Schlussbemerkungen, welche meiner Diplomarbeit noch einen kurzen und prägnanten Abschluss geben sollen.

2. Die Technische Ausführung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage

Im folgenden Kapitel werden die grundlegenden technischen Parameter aus dem Bereich Photovoltaik, welche für die Photovoltaik Gemeinschaftsanlage relevant sind, bearbeitet. Um einen besseren Überblick über die Thematik der Photovoltaik zu geben werden zuvor allgemeine Bereiche wie z.B. die Entwicklung der Photovoltaik, die Ökologie von Photovoltaikanlagen, die allgemeinen technischen Parameter zu Photovoltaikanlagen sowie für die weitere Berechnung benötigte Kenngrößen, näher erläutert.

2.1. Grundlagen der Stromerzeugung aus Sonnenstrahlen mit Photovoltaik

Der Vorgang vom Sonnenstrahl zum Strom aus der Steckdose durchläuft einen langen Weg und ist von vielen technischen Parametern begleitet. Welche Parameter dabei berücksichtigt werden müssen, entnehmen Sie nach einer kurzen Entwicklungsgeschichte der Photovoltaik, den nachfolgenden Unterkapiteln.

2.1.1. Die Entwicklung der Photovoltaik

Die Geschichte der photovoltaischen Energiewandlung knüpft an eine der Hauptwurzeln der modernen Naturwissenschaften an. Die Frage nach der Wechselwirkung von Materie und Licht hat von Anbeginn an im Zentrum der Forschung gestanden.

Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen der Beeinflussbarkeit von Materie durch Licht verdanken wir Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) in Paris. Er untersuchte Metallsalze und Metallelektroden in Elektroly-

then und fand heraus, dass unter der Einwirkung von Licht u.a. Selen, nicht aber Kupfer, seine Leitfähigkeit änderte.³

Im Jahre 1905 veröffentlichte Albert Einstein eine Arbeit, in der er annahm, dass Licht auch aus „Energie-Teilchen“ besteht, die er „Licht-Quanten“ nannte. Diese Licht-Quanten werden heute als „Photonen“ bezeichnet. Für diese Erkenntnis wurde ihm 1921 der Nobelpreis verliehen.⁴

Der innere Photoeffekt wird etwa sein 1920 „photovoltaischer Effekt“ genannt, nach dem italienischen Physiker Alessandro Volta, dem Namensgeber der elektrischen Spannungseinheit „Volt“, und dem griechischen Bezeichnung für Licht „phos, photos“.⁵

1987 wurden in Österreich erstmals Photovoltaikanlagen montiert. Zuerst wurden sie nur zur Stromversorgung auf entlegenen Almhütten verwendet.

Mit dem Ökogesetz erlebte Österreich 2001 seinen ersten Aufschwung, brach aber 2004 durch die Deckelung der Tarifförderung wieder ein. Im Jahr 2009 kam es nun aufgrund von unterschiedlichen Fördermaßnahmen der Länder und des Bundes zu einer neuen starken Marktentwicklung von Photovoltaikanlagen in Österreich.⁶

³ Vgl.: Wageman Hans-Günther, Eschrich Heinz: Photovoltaik, Solarstrahlung und Halbleitereigenschaften, Wiesbaden 2007, S. 3.

⁴ Vgl.: Bundesverband Photovoltaic Austria,
Url: <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=63> [12.09.2010]

⁵ Vgl.: Wagner Andreas: Photovoltaik Engineering, Berlin- Heidelberg 2010, S. 2

⁶ Vgl.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Url:
http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw_pdf/1015_marktstatistik_09.pdf
[12.09.2010]

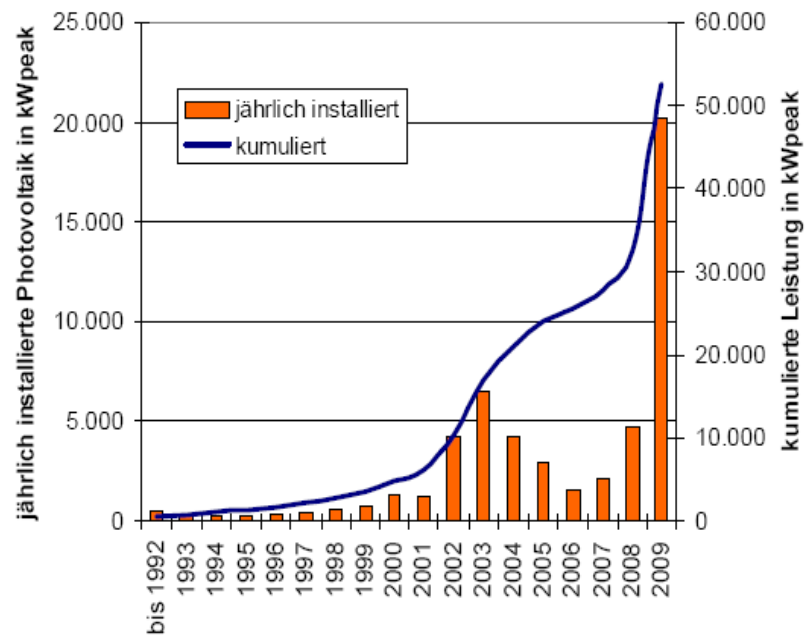


Abb. 1: Die Marktentwicklung der Photovoltaik in Österreich bis 2009; Quelle: http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw_pdf/1015_marktstatistik_09.pdf

2.1.2. Ökologie einer Photovoltaikanlage

Photovoltaikanlagen benötigen im Betrieb keine Brennstoffe und setzen keine schädlichen Stoffe frei. Dennoch müssen die Fragen nach dem Energieaufwand bei der Herstellung und nach den Möglichkeiten eines Recyclings der Module beantwortet werden.

Solarzellen benötigen für ihre Herstellung eine gewisse Menge an Energie, welche im Betrieb mit Hilfe der Photovoltaikmodule wieder erzeugt wird. Der Zeitraum, den eine Solarzelle Strom erzeugen muss, um die zu ihrer Herstellung benötigte Energie zurückzuliefern wird als energetische Amortisationszeit betrachtet. Nur wenn die Lebensdauer der Solarzelle größer ist als die energetische Amortisationszeit, ist das System energetisch sinnvoll.

Bei kristallinen Zellen liegt die energetische Amortisationszeit zwischen 2,5 Jahren (polykristalline Zellen) und 5 Jahren (monokristalline Zellen). Durch Verbesserungen im Herstellungsprozess sollten sich diese Zei-

ten nochmals halbieren lassen. Bei amorphem Silizium liegt die energetische Amortisationszeit bei etwas über einem Jahr.⁷

2.1.3. Die Ressourcenverfügbarkeit von Silizium für die Photovoltaikproduktion

Solarzellen bestehen hauptsächlich aus Silizium. Silizium ist das zweithäufigste Element auf der Erde, also nahezu unbegrenzt verfügbar. Dennoch muss mit diesem Rohstoff sinnvoll umgegangen werden, um nicht eine Ressourcenknappheit hervorzurufen. Möglichkeiten sind z.B. die Herstellung von dünneren Solarzellen oder die bessere und effektivere Verarbeitung des Rohstoffes Siliziums durch neue Technologien.

In der anschließenden Grafik finden Sie die Werte der Siliziumproduktion von 2005 bis 2010 aufgeteilt nach ihrer Verwendung (Elektronikindustrie oder Photovoltaik).

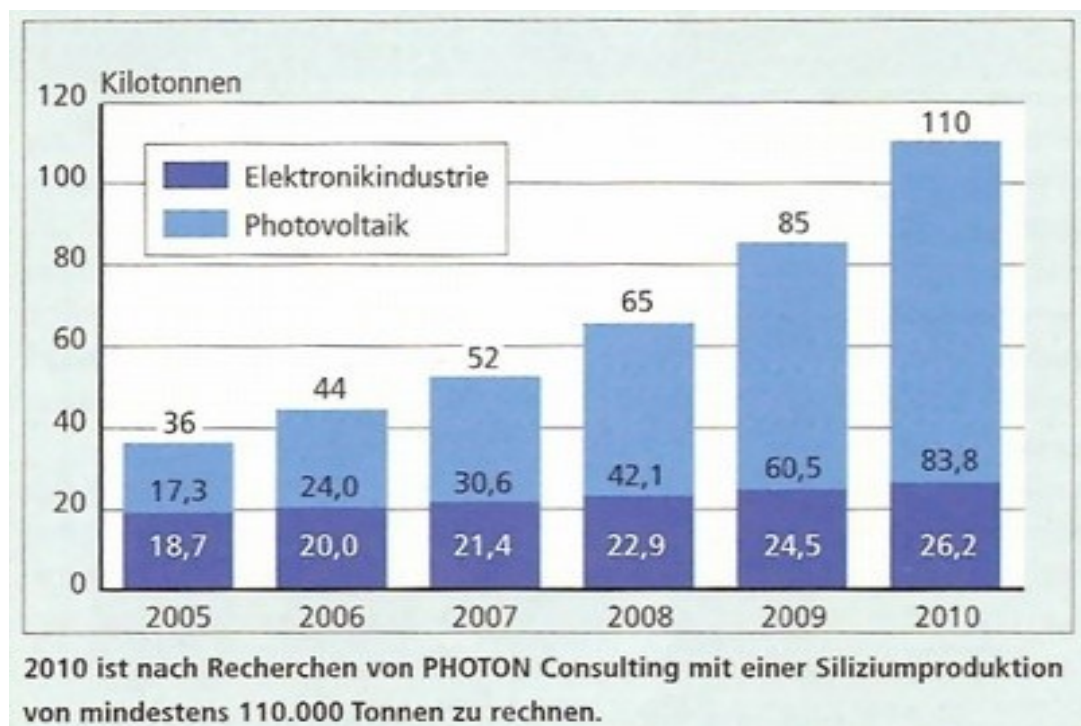


Abb. 2: Weltweite Siliziumproduktion, Quelle: PHOTON, Ausgabe Februar 2007

⁷ Vgl.: Energiesparhaus, Url: http://www.energiesparhaus.at/energie/pv_energamort.htm; [17.05.2010]

Die bedeutsamere Frage nach der Verfügbarkeit von endlichen Ressourcen ist eher bei z.B. Silber für die Herstellung von elektrischen Kontakten oder bei den zur Herstellung von Dünnschichtzellen verwendeten Materialien wie Germanium, Gallium und Tellur zu stellen. Die Ressourcen dieser Materialien könnten bei einer weltweiten Massenproduktion von Photovoltaikmodulen knapp werden. Jedoch ist eine Abschätzung der Ressourcenverfügbarkeit dieser Materialien in zukünftigen Maßstäben nicht realistisch planbar.⁸

2.1.4. Die Umweltbelastung durch Photovoltaik

Während des Betriebes von Photovoltaikanlagen werden keine umweltschädlichen Stoffe emittiert. Eine Umweltbelastung kann nur bei einer nicht ordnungsgemäßen Produktion, oder bei einer Zerstörung von Photovoltaikmodulen entstehen. Eine Möglichkeit für die Emission von schädlichen Stoffen wäre z.B. ein Brand. Obwohl Photovoltaikmodule nahezu vollständig aus nicht entflammbaren Materialien hergestellt werden kann es dennoch, bedingt durch die erhöhte Temperatur, zu einem Verdampfen einzelner Inhaltsstoffe kommen. Eine weitere Möglichkeit für die Emission von schädlichen Stoffen wäre z.B. bei einem beschädigten Modul. Hier könnte es durch Niederschlag zu einem Auswaschen der schädlichen Inhaltsstoffe kommen.

Ein bestimmtes Umweltgefährdungspotential besitzen CdTe- und CIS Dünnschichtmodule, da in geringen Mengen Cadmium und Selen eingesetzt wird und dieses ab einer bestimmten Konzentration als gefährlich angesehen wird. Auswasch- und Brandversuche an diesen Modulen ergaben jedoch keine überhöhte Konzentration im Wasser bzw. in der Luft.

Deutlich ist festzustellen, dass bei den konventionellen Energieerzeugungssystemen wie der Verbrennung von fossilen Energieträgern, das Umweltgefährdungspotential erheblich größer ist als bei der Verwendung von Photovoltaik.

⁸ Vgl.: Photon, Das Solarmagazin: Weltweite Solarproduktion, 11/2007, S40f.

2.1.5. Das Recycling von Photovoltaikanlagen

Photovoltaikanlagen bestehen aus Photovoltaikmodulen, der Montagekonstruktion und elektrischen Bauteilen. Die Montagekonstruktion und die elektrischen Bauteile, wie Kabel, Wechselrichter, Überspannungsschutz uva. können über die bereits bestehenden Recyclingmethoden entsorgt bzw. wiederverwendet werden.

Das Recycling der Photovoltaikmodule gestaltet sich da schon schwieriger. Für die Methoden des Recyclings gibt es verschiedene Qualitätsstufen. Die einfachsten Verfahren führen zu einem minderwertigeren Endprodukt. Die BP Solar AG Deutschland und Siemens AG Deutschland haben ein Verfahren entwickelt, wobei rahmenlose Photovoltaikmodule ohne stoffliche Trennung in Ferrosilizium übergeführt werden und anschließend als Zuschlagsstoff für die Stahlindustrie weiter verwendet werden.⁹

Aus wirtschaftlicher Sicht interessanter ist das höherwertige Produkt- oder Rohstoffrecycling. Hierzu werden die Photovoltaikmodule in ihre Einzelkomponenten zerlegt. Die getrennten Stoffe, wie z.B. Glas, Silber, Aluminium und die Solarzelle können so leichter bei der Produktion von Photovoltaikmodulen wiederverwendet werden. Die ersten Erfahrungen zeigen, dass diese Recyclingmethode kostenmäßig sehr attraktiv ist, da sie den Rohstoffeinsatz bei der Modulproduktion mindern und somit auch den kumulierten Energieeinsatz.¹⁰

Der Bau der ersten großen Sammel- und Recyclinganlagen im industriellen Maßstab für Photovoltaik Anlagen wird aufgrund der steigenden Wachstumsraten dieses Marktes erst in 10 bis 15 Jahren wirtschaftlich wirklich interessant werden.

Heutzutage würde ein Sammel- und Recyclingsystem von wirtschaftlicher Seite nicht sinnvoll sein, da die notwendigen Stückzahlen zum recy-

⁹ Vgl. : BP Deutschland, Url:
<http://www.deutschebp.de/genericarticle.do?categoryId=381&contentId=7038294> 8
[24.05.2010]

¹⁰ Vgl.: Scheer Hermann: Solare Weltwirtschaft, Strategie für die ökologische Moderne, Kunstmann Verlag, München, 2002, S. 79f.

celn fehlen. Die bisher installierten Photovoltaikanlagen sind noch alle in Betrieb, mit den ersten Ausfällen wird in 10 bis 15 Jahren gerechnet (Annahme einer durchschnittlichen Anlagenlebensdauer von 25 bis 40 Jahren). Eine Entsorgung auf Mülldeponien, wird aufgrund der in Photovoltaikmodulen verwendeten kostbaren Materialien nicht stattfinden.¹¹

2.1.6. Die Sonnenstrahlung

Die Intensität der Sonnenstrahlung außerhalb der Erdatmosphäre ist abhängig vom Abstand zwischen Sonne und Erde. Im Verlauf des Jahres bewegt sich dieser zwischen $1,47 \times 10^8$ km und $1,52 \times 10^8$ km. Hierdurch schwankt die Bestrahlungsstärke E_0 zwischen 1.325 W/m^2 und 1.412 W/m^2 .¹²

Auf der Erdoberfläche wird diese Bestrahlungsstärke nicht erreicht. Die Erdatmosphäre reduziert die Sonnenstrahlung durch Reflexion, Absorption (durch Ozon, Wasserdampf, Sauerstoff oder Kohlendioxid) und Streuung (durch Moleküle, Staubteilchen, oder Verunreinigungen). An der Erdoberfläche wird bei schönem Wetter um die Mittagszeit eine Bestrahlungsstärke von 1.000 W/m^2 erreicht. Dieser Wert ist relativ unabhängig vom Standort. Summiert man den Energiegehalt der Sonnenstrahlung über ein Jahr, so erhält man die jährliche Globaleinstrahlung in kWh/m^2 . Dieser Wert ist regional sehr Unterschiedlich aber entscheidend für den späteren Ertrag einer Photovoltaikanlage.

Einige Regionen am Äquator erreichen Werte über 2.300 kWh/m^2 pro Jahr, während in Südeuropa mit einer jährlichen Sonneneinstrahlung von maximal 1.700 kWh/m^2 und in Österreich von 850 bis 1.400 kWh/m^2 gerechnet werden kann.¹³ Zur bildlichen Darstellung werden diese Werte in der anschließenden Grafik dargestellt.

¹¹ Vgl.: Hennicke Peter, Fishedick Manfred: Erneuerbare Energien, c.H. Beck Wissen Verlag, München, 2007, S. 84f.

¹² Vgl.: Wagner Andreas: Photovoltaik Engineering, Berlin- Heidelberg 2010, S. 5f

¹³ Vgl.: Frühwald Othmar , Pokorny Daniela: Leitfaden Photovoltaische Anlagen, Gratwein 2008, Seite: 11f

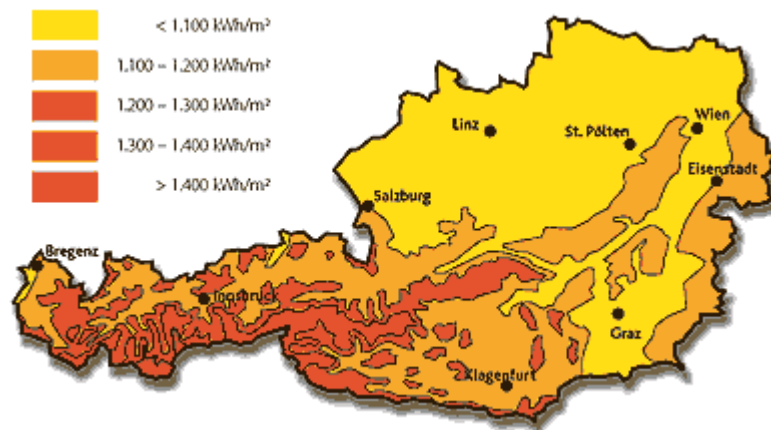


Abb. 3: Sonneneinstrahlung in Österreich, Quelle: <http://www.solarwaerme.at/>

2.1.7. Funktionsweise einer Photovoltaikzelle

Unter der photovoltaischen Energieumwandlung versteht man die direkte Umwandlung der elektromagnetischen Energie des Sonnenlichtes in elektrische Energie.

Im sogenannten Bändermodell, mit dem die elektrische Leitfähigkeit, speziell die der Halbleiter erklärt wird, gibt es zwei Energiebänder (Leitungsband und Valenzband). Das Valenzband ist das höchste Energieband, das noch mit an das Atom gebundenen Elektronen besetzt sein kann.¹⁴

Das Leitungsband bestimmt die elektrischen Eigenschaften des Materials. Befinden sich dort Elektronen, so leitet das Material, ist es frei von Elektronen wirkt das Material als Isolator. Da die Elektronen des Valenzbandes nicht zu einem Stromfluss beitragen können folgt daraus, dass es voll besetzt ist und sich die Elektronen somit nicht von Atom zu Atom bewegen können, weil ja kein Platz frei ist.¹⁵

Trifft ein Photon auf einen Halbleiter, so kann seine Energie auf ein Elektron des Valenzbandes übertragen werden und dieses Elektron ins Leitungsband anheben. Es wird vom inneren Photoeffekt gesprochen.¹⁶

¹⁴ Vgl.: Solarone Deutschland AG, Url: http://www.solarone.de/photovoltaik_lexikon/photovoltaik_valenzband.html [15.09.2010]

¹⁵ Vgl.: leXolar GmbH, Url: <http://www.lexsolar.de/index.asp?sid=32> [15.09.2010]

¹⁶ Vgl.: Molitor Patrick: Der Photovoltaik-Anlagen Projektleitfaden, Seite 35ff

Die klassische kristalline Siliziumsolarzelle setzt sich aus zwei unterschiedlich dotierten Silizium Schichten zusammen. Die dem Sonnenlicht zugewandte Schicht ist mit Phosphor negativ dotiert, die darunter liegende Schicht ist mit Bor positiv dotiert. An der Grenzschicht entsteht ein elektrisches Feld, das zur Trennung der durch das Sonnenlicht freigesetzten Ladungen führt. Um der Solarzelle Strom entnehmen zu können, müssen auf Vorder- und Rückseite metallische Kontakte angebracht werden.¹⁷ Die anschließende Grafik soll dies bildlich darstellen.

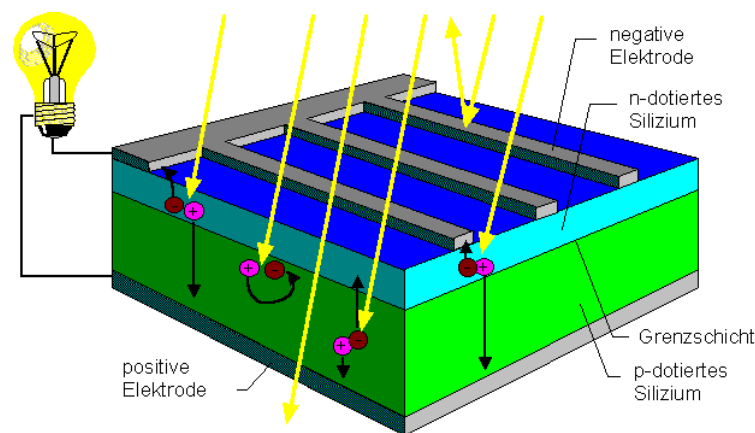


Abb. 4: Aufbau und Funktionsschema einer kristallinen Solarzelle; Quelle: <http://www.iundm.de/lars/Image18.gif>

2.1.8. Die technischen Unterschiede der Module

Der Markt wird heute überwiegend von monokristallinen und polykristallinen Siliziumzellen sowie amorphen Siliziumzellen beherrscht. Das wichtigste Material für die Herstellung von kristallinen Solarzellen ist Silizium. Nach Sauerstoff ist Silizium das zweithäufigste Element der Erde, daher steht es als Grundstoff für die Solarproduktion in fast unbegrenzter Menge zur Verfügung.

Das gewonnene Silizium wird in der Photovoltaikfertigung auf verschiedene Arten weiterverarbeitet. Man erhält so unterschiedliche Zellentypen (mono- und polykristallin), welche unterschiedliche Wirkungsgrade aufweisen (siehe Tabelle 1).

¹⁷ Vgl.: Firma Alectron, Url: <http://www.alectron.ch/wp-content/uploads/images> [12.05.2010]

Eine weitere gängige Methode und in letzter Zeit verstärkte Anwendung, ist die Herstellung von Solarzellen im Dünnschichtverfahren. Es wird ein photoaktiver Halbleiter als dünne Schicht auf ein Trägermaterial aufgebracht z.B. durch ein Aufdampfverfahren. Als Halbleitermaterial wird amorphes Silizium, Kupfer Inseum Diselenid (CIS) und Cadmiumtellurid (CdTE) eingesetzt.¹⁸

Material	η (Labor)	η (Produktion)
Monokristallines Silizium	24,7%	14-18%
Polykristallines Silizium	19,8%	13-15,5%
Amorphes Silizium	13,0%	8,0%

Tabelle 1: Wirkungsgrade kristalliner Siliziumzellen; Quelle: ZES

Eine Besonderheit sind **Hybrid HIT-Zellen**. Die HIT-Zelle ist eine Kombination aus einer kristallinen und einer Dünnschicht Solarzelle. Gegenüber kristallinen Solarzellen zeichnet sich die HIT-Zelle durch eine höhere Energieausbeute bei hohen Temperaturen aus. Bei der Herstellung spart die HIT-Zelle Energie und Material durch geringere Abscheidetemperaturen und einer geringeren Dicke. Der Wirkungsgrad beträgt 17-18% und die Farbe reicht von dunkelbraun bis schwarz.¹⁹

2.1.9. Ausrichtung der Module

Bei nicht nachgeführten Anlagen gilt als Grundsatz: Orientierung möglichst in Südrichtung. Der Neigungswinkel bei fix installierten Modulen ist abhängig davon, wann eine optimale Leistungsausbeute erzielt werden soll und beträgt meist zwischen 25° und 45°. In Gegenden mit hohem Anteil diffuser Strahlung (städtische Bereiche) gelten 30° bis 35° als ideal, im alpinen Bereich rund 45°.

¹⁸ Vgl.: Haselhuhn Ralf: Photovoltaik: Gebäude liefern Strom, Karlsruhe 2010, S. 27

¹⁹ Vgl.: Haselhuhn Ralf: a.a.O, S. 17

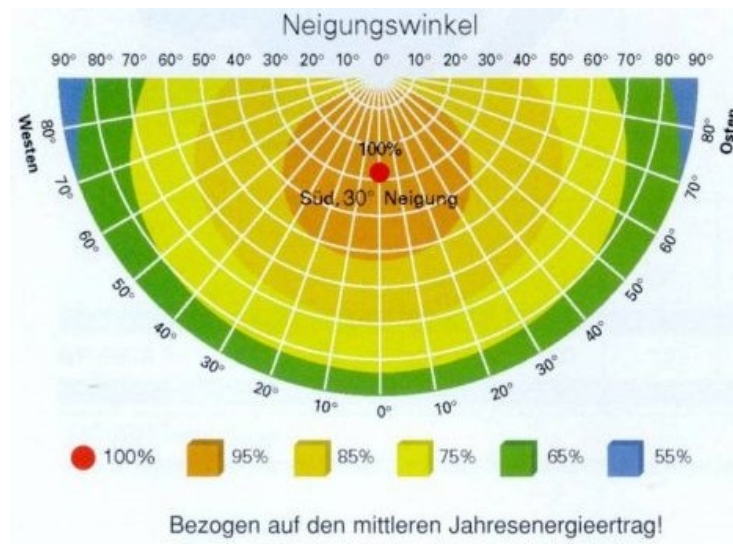


Abb. 5: Neigungswinkel, Quelle:

http://www.pvaustria.at/upload/160_Energieertrag%20Ausrichtung%20Dachneigung.jpg

Das Bild (Abb.5.) veranschaulicht, welche Ertragseinbuße in Kauf genommen werden muss, wenn die Photovoltaikanlage nicht optimal aufgestellt werden kann. Das Bild zeigt, dass eine flachere Neigung günstig ist, wenn die Anlage nicht nach Süden ausgerichtet werden kann. So liegt die Einstrahlung auf einer Anlage mit 30° Neigung selbst bei 45° Südwestausrichtung noch bei knapp 95% der optimalen Einstrahlung. Und selbst bei Ost- oder Westausrichtung kann man noch mit 85% der optimalen Einstrahlung rechnen, wenn die Dachneigung zwischen 25° und 40° liegt.

2.1.10. Schatten vermindert Energieertrag

Größere Einbußen als eine nicht ganz optimale Ausrichtung können Schattenwürfe von umstehenden Hindernissen verursachen. Deshalb kommt es bei der Anlagenplanung ganz besonders darauf an, mögliche Schattenverursacher zu erkennen und die Photovoltaikmodule so zu platzieren und zu dimensionieren, dass keine Verschattung auftritt. Nachbargebäude, Bäume oder Strommasten können solche Hindernisse sein, wobei auch zu berücksichtigen ist, dass sich im Laufe von zwanzig Jahren auf unbebauten Nachbargrundstücken etwas tun kann. (Sträucher und Bäume werden immer größer und werfen somit Schatten).

2.1.11. Anlagengüte - Performance Ratio PR

Welchen Teil der Solarstrahlung Photovoltaikmodule in elektrische Energie umwandeln, hängt von der Anlagengüte ab. Den angegebenen Nennwirkungsgrad erreichen Solarmodule nur selten. Staub, Vogeldreck, Erwärmung, Leistungsverluste, Reflexionen, Wechselrichterverluste und andere Widrigkeiten reduzieren den Ertrag. Das Verhältnis von realem Wirkungsgrad zum Nennwirkungsgrad nennt man Performance Ratio (PR). Tabelle 3 gibt Anhaltspunkte für Performance Ratio Werte bei netzgekoppelten Photovoltaikanlagen.²⁰

Performance Ratio PR	Beschreibung
0,9	Absolute Top-Anlage, sehr gut hinterlüftet, keinerlei Verschattung, wenig Verschmutzung
0,8	Sehr gute Anlage, gut hinterlüftet keine Verschattung
0,75	Durchschnittliche Anlage
0,7	Durchschnittliche Anlage mit kleineren Verlusten durch Verschattung oder schlechter Hinterlüftung
0,6	Schlechte Anlage mit größeren Verlusten durch Verschattung, Verschmutzung oder Anlagenausfällen
0,5	Sehr schlechte Anlage mit großen Verschattungen oder Defekten

Tabelle 2: Performance Ratio für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen

2.1.12. Die Kenngrößen von Photovoltaikanlagen

In Datenblättern für Photovoltaikmodule findet man meist eine so genannte Strom- Spannungskennlinie. Der maximale Strom I_K fließt bei einem

²⁰ Vgl.: SMA Performance Ratio, Url:
<http://download.sma.de/smaproসা/dateien/7680/Perfratio-UDE100810.pdf>
[04.09.2010]

kurzgeschlossenen Photovoltaikmodul. Der Kurzschlussstrom ist begrenzt und hängt von der solaren Bestrahlungsstärke ab. Wird gar nichts an das Photovoltaikmodul angeschlossen, befindet es sich im Leerlauf und es fließt kein Strom. Dann stellt sich die Leerlaufspannung U_0 ein. Im Kurzschluss und im Leerlauf kann das Modul keine Leistung abgeben. Zwischen Leerlauf und Kurzschluss hängt der Strom von der Spannung ab. Der prinzipielle Verlauf der Kennlinie ist für alle Solarmodule ähnlich.

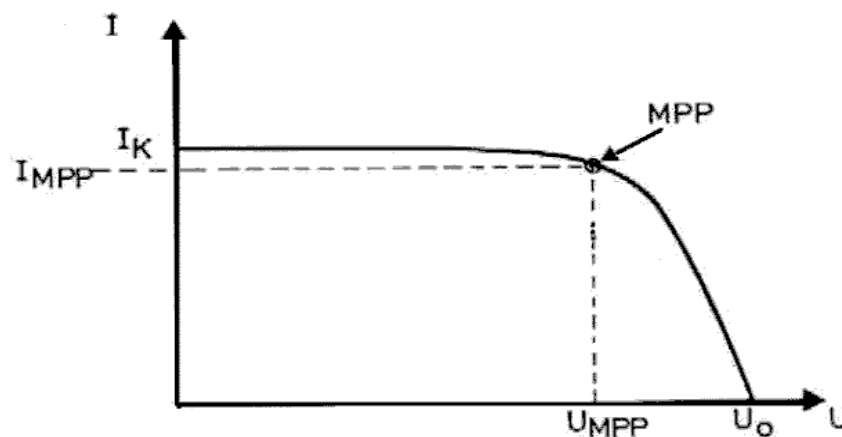


Abb. 6: Strom- Spannungskennlinie; Quelle: http://www.tu-chemnitz.de/etit/microtec/lehre/schuelerarbeit_solarnu/abb7.gif

In der Praxis möchte man dem Photovoltaikmodul die maximale Leistung entnehmen. Diese entspricht dem größten Rechteck, das sich unter die Kennlinie schieben lässt. Die rechte obere Kante des Rechtecks auf der Kennlinie heißt MPP. Das ist die Abkürzung für „Maximum Power Point“. Die Spannung, die zum MPP gehört, heißt MPP-Spannung, kurz U_{MPP} . Bei dieser Spannung gibt das Photovoltaikmodul die maximale Leistung ab. In der Praxis erreicht man den Betrieb nahe des MPP, indem ein Wechselrichter automatisch die MPP-Spannung am Photovoltaikmodul einstellt.

Um Photovoltaikmodule vergleichen zu können, hat man sich international auf Standardtestbedingungen geeignet. Die MPP-Leistung von Solarzellen und Modulen wird dabei bei einer solaren Bestrahlungsstärke von 1000 Watt pro Quadratmeter und einer Modultemperatur von 25°C bestimmt. Da in der Praxis die Bestrahlungsstärke meist niedriger ist und Photovoltaikmodule sich im Sommer bis über 60°C erwärmen können, stellt die

bei Standardtestbedingungen ermittelte MPP-Leistung einen Maximalwert dar. Dieser wird nur in sehr seltenen Fällen erreicht und noch seltener überschritten. Deshalb hat die Leistung auch die Einheit „Watt Peak“, kurz W_P .²¹

Zur besseren Übersicht sind in der nachstehenden Tabelle die wichtigsten Kenngrößen zusammengefasst dargestellt.

Kenngröße	Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
Leerlaufspannung	U_O	Volt V	Spannung des PV-Moduls im Leerlauf ohne angeschlossene Last
Kurzschlussstrom	I_K	Ampere A	Strom des Moduls im Kurzschluss bei Kurzgeschlossenem Modul
MPP-Spannung	U_{MPP}	Volt V	Spannung bei der das PV-Modul die maximale Leistung abgibt
MPP-Strom	I_{MPP}	Ampere A	Zur MPP-Spannung zugehöriger Strom
MPP-Leistung	P_{MPP}	Watt W	Maximale Leistung, die ein PV-Modul abgeben kann

Tabelle 3: Wichtige Kenngrößen für PV-Module

2.2. Die Montagekomponenten der Gemeinschaftsanlage

Die Sonne wandert im Lauf des Tages aus östlicher Richtung kommend über Süden nach Westen. Da die Solarmodule ihre maximale Leistung dann abgeben, wenn die Sonne möglichst direkt auf sie trifft, erhöht eine nachgeführte Anlage die Energieausbeute über den Tag, beziehungsweise die Saison, bei saisonaler Nachführung, da die Sonne im Sommer höher steht als im Winter.

²¹ Vgl.: Quaschnig Volker: Erneuerbare Energien und Klimaschutz, München 2008, S. 106f

2.2.1. Das Nachführsystem

Für die Photovoltaik Gemeinschaftsanlage werden 3 Tracker mit je 6,58 kWp verwendet. Mittels den so genannten „Trackern“ (siehe Abb. 7) ist es möglich, die Photovoltaikmodule der Sonnenstrahlung „nachzuführen“.



Abb. 7: Nachgeführte Photovoltaikanlage; Quelle: Elektro Nauschnegg

Die Steuerung des Nachführsystems und die optimale Ausrichtung der Module der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage erfolgt mittels einer astronomischen Steuerung.

Die astronomische Steuerung ist eine Neuentwicklung, mit der Photovoltaikmodule punktgenau und unabhängig von allen äußeren Einflüssen zur Sonne ausgerichtet werden. Ausgehend vom Standort der Nachführung, dem aktuellen Datum und der Uhrzeit wird der jeweilige Sonnenstand exakt berechnet und die Modulfläche über 2 Drehachsen optimal positioniert. Je nach Anbieter wird die Position alle fünf bis zwanzig Minuten neu berechnet und somit die neue Winkelposition der Photovoltaik Module bestimmt.

Die Daten werden in der angeschlossenen Motorsteuerung verarbeitet und somit ein Verfahren der Antriebe angestoßen. Korrigierende Bewegungen werden dadurch ausgeschlossen und die Anzahl der täglichen Bewegungen so gering wie möglich gehalten. Damit sind die Anlagen immer passend ausgerichtet und auch bei schnell wechselnder Bewölkung sofort leistungsbereit.

Darüber hinaus bietet die Steuerung umfangreiche Einstellmöglichkeiten. In Kombination mit dem Windsensor (optional) kann z.B. die Modulfläche zum Schutz automatisch aus dem Wind gefahren werden.²²

Als Alternative zur astronomischen Steuerung des Nachführsystems gibt es die Möglichkeit der Steuerung mittels Einstrahlungssensoren. Hierbei richtet sich die Photovoltaik Anlage an die Stelle am Himmel, welche momentan die meiste Lichtausbeute bietet.

Zwei Sensorzellen liefern Referenzwerte, die von einem Logikbaustein ausgewertet werden, um die Modulfläche im Tagesverlauf nachzuführen. Ein dritter Sensor sorgt morgens für die Rückstellung der Anlage, damit sie gleich bei Sonnenaufgang optimal ausgerichtet ist. In Abhängigkeit der Einstrahlung bewirkt ein Differenzverstärker den Übergang von der logarithmischen Kennlinie bei starker Einstrahlung zur linearen Kennlinie bei diffusem Licht. In dieser Abhängigkeit nimmt der Logikbaustein bei der linearen Kennlinie einen sehr viel höheren Wert an als bei der logarithmischen. Das optimiert die Nachregelgenauigkeit bei abnehmender Helligkeit.²³

Der Nachteil bei dieser Steuerung ist, dass an bewölkten Tagen das Nachführsystem ständig in Bewegung ist und dadurch viel Energie für die Motoren der Nachführung verwendet werden muss.

Nachgeführte Anlagen erbringen ca. 20% mehr Ertrag als „statische“ Anlagen. Bei zweiachsig nachgeführten Anlagen ist ca. 40% mehr Ertrag zu erwarten. Bei beiden Angaben ist der Stromverbrauch der Motoren, die die Nachrichtung ausführen, nicht berücksichtigt.²⁴

Nachgeführte Photovoltaikanlagen führen bei Netzeinspeisung zu einem erhöhten Mehrertrag im Jahresmittel, jedoch bedarf es für die Realisierung einer Nachführung meist eines großen Aufwandes, auch in finanzieller Hinsicht.

²² Vgl.: Solar Track GmbH, Url: <http://www.solar-trak.de/> [10.09.2010]

²³ Vgl.: Deger Energie GmbH, Url: <http://www.degerenergie.de/deutsch/produkte/technologie/degerconecter.html#c141> [10.09.2010]

²⁴ Vgl.: Solar Track GmbH, Url: <http://www.solar-trak.de/> [10.09.2010]

2.2.2. Die Module

Die Module sind das Herzstück einer Photovoltaik Anlage. Um den Ertrag zu optimieren werden für die Photovoltaik Gemeinschaftsanlage HIT 235 Wp Hochleistungsmodule der Firma Sanyo verwendet.

Die Vorteile der Sanyo HIT Module sind:

- Modulwirkungsgrad: 17%
- Mehr Leistung gegenüber kristallinen Photovoltaikmodulen bei gleicher Fläche
- Sehr niedrige Temperaturverluste (0,3% pro °C)
- Bessere Empfindlichkeit bei diffusem Licht, ca. 10% mehr Energieertrag pro Jahr
- Handliche Abmessung: 1,6m x 0,86m



Für die Photovoltaikmodule wird eine Modulleistung im 25. Jahr von min. 90% garantiert.²⁵ Für die Kalkulation wird daher eine jährliche Leistungsabnahme von 0,4% angenommen. Ursache für die jährliche Leistungsabnahme (Degradierung) ist die altersbedingte Änderung der Parameter von Halbleiterbauteilen, was bei einer Solarzelle einen Rückgang des Wirkungsgrades bedeutet.

Abbildung 8: Sanyo Hochleistungsmodul;

Quelle: <http://www.sanyo-solar.eu/produkte>

Üblicherweise betrachtet man einen Zeitraum von 25 Jahren. Der Verlust an Wirkungsgrad liegt in diesem Zeitraum etwa im Bereich von 10 % bis

13 %. Solarzellen im Weltraum altern wesentlich schneller, da sie einer höheren Strahlung ausgesetzt sind.

Nachlassende Wirkungsgrade bzw. Stromerträge bei Solarmodulen haben aber oft banalere Ursachen: Allgemein flächige Verschmutzung der

²⁵ Vgl.: Sanyo Solar, Url: <http://www.sanyo-solar.eu/produkte/garantiebedingungen/> [31.08.2010]

Modulgläser, Veralgung („Verpilzen“) speziell vom Modulrahmen ausgehend, mit Teilabschattung der Zellen; wachsende Bäume und Sträucher, die eine Teilabschattung bewirken und bei der Installation noch deutlich kleiner waren.²⁶

2.2.3. Wechselrichter

Für jeden Tracker wird ein Wechselrichter benötigt. Für die Photovoltaik Gemeinschaftsanlage wird dies der Fronius IG 70 plus sein.



Abb. 9: Fronius Wechselrichter; Quelle: www.fronius.at

Der Solarwechselrichter ist das Bindeglied zwischen Photovoltaikgenerator und Wechselstromnetz bzw. Wechselstromverbraucher. Seine grundlegende Aufgabe ist es, den von den Modulen erzeugten solaren Gleichstrom in Wechselstrom umzuformen und diesen an die Frequenz und Höhe der Spannung des Hausnetzes anzupassen.

Nach ihrem Einsatz unterscheidet man Wechselrichter, die in netzgekoppelten Systemen oder in Inselsystemen zum Einsatz kommen. In Inselsystemen ermöglichen Wechselrichter den Betrieb von konventionellen Wechselstromverbrauchern.

Bei netzgekoppelten Photovoltaiksystemen ist der Wechselrichter mit dem öffentlichen Stromnetz direkt oder über das Hausnetz verbunden.

Bei Photovoltaikanlagen bis zu einer Leistung von 5kWp kann die Einspeisung einphasig ausgeführt werden. Bei größeren Anlagen wird dreiphasig ins öffentliche Netz eingespeist. Der Grund dafür ist, dass somit alle 3 Phasen (L1, L2, L3) des Drehstromnetzes gleichmäßig belastet werden.

²⁶ Vgl.: Bundesverband Photovoltaic Austria, Url: <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=48> [15.09.2010]

Moderne Solarwechselrichter können folgende Funktionen erfüllen:

- Umwandlung des vom Photovoltaikmodul erzeugten Gleichstromes in einen netzkonformen Wechselstrom
- Betriebsdatenerfassung und Signalisierung (z.B. Anzeige, Datenspeicherung, Datenübertragung,...)
- DC- und AC- Schutzeinrichtung (z.B. Verpolungsschutz, Überspannungs- und Überlastschutz, Überwachungs- und Schutzeinrichtung zur Einhaltung der Richtlinien für Eigenerzeugungsanlagen).²⁷

2.3. Der Energieertrag der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage

Netzgekoppelte Anlagen stehen mit dem öffentlichen Netz in Verbindung und wirken wie ein Kraftwerk. Bei netzgekoppelten Anlagen wird der Gleichstrom der Module durch einen speziellen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt.

Die erzeugte Leistung der Gemeinschaftsanlage wird zu 100% in das öffentliche Netz eingespeist und vergütet. In der nachfolgenden Abbildung sehen Sie sehr gut welche Stationen ein Sonnenstrahl durchläuft bis er ins öffentliche Netz gelangt.

²⁷ Vgl.: Haselhuhn Ralf, Berger Frauke, Hemmerle Claudia: Photovoltaische Anlagen, Berlin 2002, S 3-39

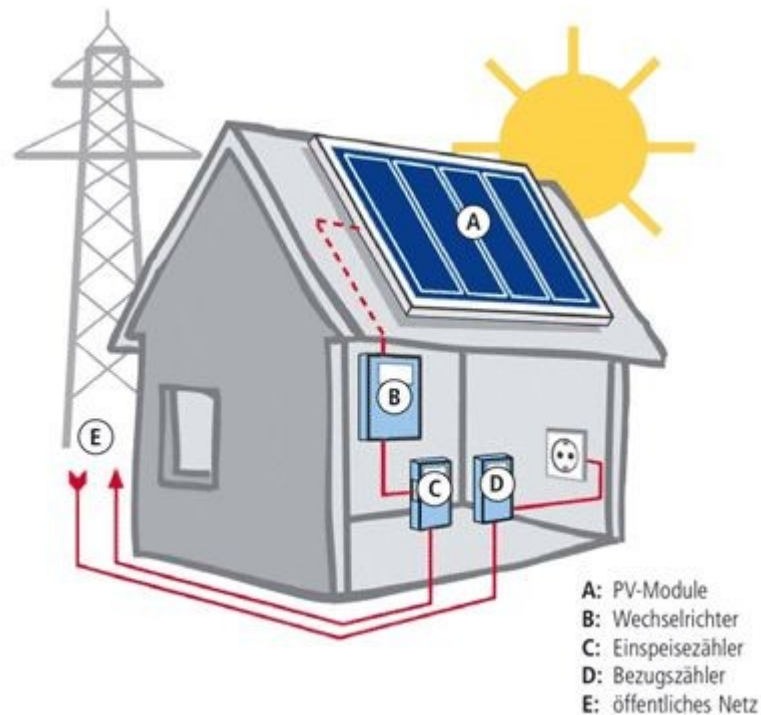


Abb. 10: Netzgekoppelte Photovoltaikanlage; Quelle: <http://www.pvaustria.at>; 13.05.2010

2.3.1. Berechnung der erzeugten Energie pro Jahr

Mit der jährlichen Solaren Bestrahlung H_{Solar} in kWh/m²a aus Abb. 3, den Gewinnen und Verlusten aus Neigung und Ausrichtung f_{Neigung} (Abb. 5), der Nenn- bzw. MPP-Leistung P_{MPP} der Photovoltaikmodule in kWp und der Performance Ratio PR lässt sich die durch einen netzgekoppelte Photovoltaikanlage jährlich produzierte Energiemenge berechnen:²⁸

$$E_{\text{elektrisch}} = \frac{H_{\text{Solar}} * f_{\text{Neigung}} * P_{\text{MPP}} * PR}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} \quad 2-1$$

²⁸ Vgl.: Quaschelning Volker, a.a.O, S. 122

Folgende Daten werden für die Berechnung der jährlich produzierten Energiemenge der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage als Berechnungsgrundlage verwendet:

- $H_{\text{Solar}} = 1200 \text{ kWh/a}$
- $f_{\text{Neigung}} = 100\%$, da es sich um ein nachgeführtes System handelt
- $PR = 0,85$
- $P_{\text{MPP}} = 19,74 \text{ kWp}$
- Leistungssteigerung = +40% (2-achsig Nachgeführt)

$$E_{\text{elektrisch}} = \frac{1200 * 1 * 19,74 * 0,85 * 1,4}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} = 28.188,72 \text{ kWh/Jahr}$$

2.3.2. CO₂ Einsparung pro Jahr

Das Ziel bei der Gewinnung von elektrischer Energie aus der Sonnenstrahlung ist das Reduzieren von Emissionen. Da das Treibhausgas CO₂ die Ozonschicht abbaut, soll hier berechnet werden, wie viel CO₂ durch den Betrieb der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage jährlich eingespart werden kann.

Als Grundlage für die Berechnung der CO₂ Einsparung werden die CO₂ Emissionen bei der Erzeugung von 1kWh mit herkömmlichen Fossilen Brennstoffen (ÖL, Kohle, Gas) herangezogen. In Österreich beträgt die Differenz CO₂ Emission von Fossilen Brennstoffen zu Photovoltaik 0,43 kg/kWh.²⁹

Daraus ergibt sich bei einem jährlichen Energieertrag von 28.188,72 kWh eine CO₂ Einsparung von ≈ 12 Tonnen CO₂ pro Jahr.

²⁹ Vgl.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Url: http://www.nachhaltigwirtschaften.at/1015_marktstatistik_09.pdf [01.09.2010]

3. Projektablauf einer Photovoltaikanlage in Österreich

Bevor man in Österreich mit dem Bau einer Photovoltaikanlage beginnen kann, muss man sich genau mit den gesetzlichen Grundlagen und den verschiedensten Genehmigungsverfahren beschäftigen. Was dabei alles zu beachten ist, entnehmen Sie den folgenden Absätzen.

3.1. Gesetzliche Grundlagen

In Österreich gibt es verschiedene Gesetze, Verordnungen und Normen die bei der Planung einer Photovoltaikanlage berücksichtigt werden müssen. Um einen Überblick über die einzelnen Institutionen zu bekommen, werden diese in den folgenden Absätzen kurz erläutert.

Jedes Bundesland hat seine eigenen **Bauordnungen**, in welchen geregelt wird, welche Richtlinien erfüllt werden und Genehmigungen erteilt sein müssen, um ein OK für den Bau einer Photovoltaikanlage zu erhalten. Bezogen auf Österreich existieren somit neun verschiedene.

Weiters muss man sich mit dem **Elektrizitätsgesetz bzw. Elektrizitätswirtschaftsorganisationsgesetz** auseinandersetzen. Hier gibt es wiederum für jedes Bundesland ein eigenes Gesetz mit unterschiedlichen Leistungsgrenzen für Verfahrensschritte und unterschiedlichen Bedingungen ab wann ein- oder dreiphasig ins Netz eingespeist werden darf.

Je nach geplantem Standort der Photovoltaikanlage müssen **Naturschutz- und Forstrechtsgesetze** berücksichtigt werden.

Nicht zu vergessen sind die diversesten **Normen** (z.B. ÖVE ÖNORM E 8001-4-712, TOR, TAEV, ...) die beim Bau einer Photovoltaikanlage natürlich auch eingehalten werden müssen.

3.2. Genehmigungsverfahren in der Steiermark

Vor Bau einer Photovoltaikanlage ist es unabdinglich sich mit den einzelnen Genehmigungsverfahren auseinanderzusetzen. In den Folgenden Unterkapiteln werden die wichtigsten genauer erläutert.

3.2.1. Raumordnung

Das Raumordnungsgesetz bezieht sich lediglich auf Freiflächenanlagen und kann für dachintegrierte Photovoltaikanlagen als nicht relevant angesehen werden, da für das Gebäude bereits eine Widmung besteht. Die Flächenwidmung ist ausschlaggebend über die Nutzungsart des jeweiligen Gebietes. Die konkrete Flächenwidmung eines Standortes kann im jeweiligen Gemeindeamt eingesehen werden.³⁰

Für die Errichtung einer Freiflächenanlage sind die Flächen auf Sondernutzung umzuwidmen. Diesbezüglich empfiehlt sich im Projektverlauf die frühzeitige Konsultation der für die Raumordnung zuständigen Fachabteilung FA13B, Amt der Steiermärkischen Landesregierung.

3.2.2. Baurechtliche Bewilligung

Die Errichtung von Photovoltaikanlagen in der Steiermark ist den gesetzlichen Bestimmungen für die Errichtung von Bauwerken unterstellt. Als Grundlage dient das Steiermärkische Baugesetz (Stmk.BauG 1995).³¹

Photovoltaikanlagen sind in der Steiermark ab einer Modulfläche von 40m² baubewilligungspflichtig. Dies bezieht sich sowohl auf dachintegrierte Anlagen, als auch auf Freiflächenanlagen. Unter einer baulichen Anlage wird jene Anlage verstanden, zu deren Errichtung bautechnische Kenntnisse erforderlich sind, die mit dem Boden in Verbindung gebracht wird und die

³⁰ Vgl.: Steirisches Raumordnungsgesetz, Quelle:
http://www.raumplanung.steiermark.at/cms/dokumente/10231089_241551/fcff9628/ROG%202009.pdf [29.05.2010]

³¹ Vgl.: Steirisches Baugesetz 1995, Quelle:
http://www.bauordnung.at/oesterreich/steiermark_baugesetz.php [29.05.2010]

wegen ihrer Beschaffenheit geeignet ist, das öffentliche Interesse zu berühren.

Eine Grundstücksfläche ist nach dem Steiermärkischem Baugesetz für die vorgesehene Bebauung geeignet, wenn:

- eine Bebauung nach dem Steiermärkischen Raumordnungsgesetz zulässig ist,
- der Untergrund tragfähig ist sowie die vorgesehene Bebauung keine Gefährdung der Standsicherheit benachbarter baulicher Anlagen zur Folge hat,
- eine für den Verwendungszweck geeignete und rechtliche gesicherte Zufahrt von einer befahrbaren öffentlichen Verkehrsfläche besteht.

3.2.3. Elektrizitätsrechtliches Verfahren

Grundlage für das elektrizitätsrechtliche Verfahren ist das Steiermärkische Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz 2005 (EIWOG 2005).³² Das Gesetz regelt die Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Energie im Bundesland Steiermark. Die Erteilung der elektrizitätsrechtlichen Genehmigung setzt voraus, dass durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage eine Gefährdung des Lebens oder der Gesundheit von Menschen oder eine Gefährdung des Eigentums oder sonstiger dringlicher Rechte der Parteien nach fachmännischer Voraussicht nicht zu erwarten ist und Belästigungen von Anrainern wie Blendung auf ein zumutbares Maß beschränkt bleiben.³³

³² Vgl.: Stadtwerke Bruck, Url: http://www.stadtwerke-bruck.at/news1/vorschriften/Stmk_EIWOG_2001.pdf [29.05.2010]

³³ Vgl.: Frühwald Othmar , Pokorny Daniela: Leitfaden Photovoltaische Anlagen, Gratwein 2008, Seite: 25

3.2.4. Anerkennung der Ökostromanlage

Ökostromanlagen sind von der Behörde mittels eines Antrages des Betreibers anzuerkennen. Betreiber von Ökostromanlagen sind berechtigt, die Abnahme der von diesen Anlagen erzeugten elektrischen Energie vom jeweiligen Verteilernetzbetreiber zu verlangen, an dessen Verteilernetz die Anlage angeschlossen ist.

Hinsichtlich der Richtigkeit und Bestätigung der gemachten Angaben muss lt. Ökostromgesetz eine Bescheinigung von einer Anstalt des Bundes oder eines Bundeslandes, einer staatlichen autorisierten Anstalt, eines Ziviltechnikers oder eines gerichtlich beeideten Sachverständigen, jeweils im Rahmen ihrer Befugnisse gemeinsam mit einem vollständig ausgefüllten Antragsbogen, sowie der sonstigen Nachweise vorgelegt werden, sofern es von der Behörde nicht anders verlangt wird.

3.2.5. Abnahmepflicht der Ökoenergie

Verteilernetzbetreiber sind verpflichtet, die ihnen angebotene elektrische Energie aus an ihren Verteilernetzen angeschlossen Anlagen, die als Ökostromanlagen anerkannt sind, abzunehmen. Im Zweifelsfalle hat die Behörde über Antrag eines Verteilernetzbetreibers oder eines Betreibers einer Energieerzeugungsanlage festzustellen, ob eine Abnahmepflicht besteht. Eine Verpflichtung eines Netzbetreibers zur technischen Erweiterung bzw. Anpassung seiner Anlage als Voraussetzung der Abnahmeverpflichtung besteht nicht.

3.3. Photovoltaik Förderungen in Österreich

In Österreich gibt es bundesweit zwei grundlegende Fördermodelle zur Förderung von Photovoltaikanlagen. Zusätzlich bestehen je nach Bundesland unterschiedliche Zuschüsse und Förderungen. In diesem Kapitel werden die zwei bundesweiten Fördermodelle vorgestellt und die Fördersituation im Bundesland Steiermark näher erläutert.

3.3.1. Investitionsförderungen

Bei Investitionsförderungen wird der Kauf der Photovoltaik Anlage mittels einmaligen Zuschüssen unterstützt. Diese Förderung dient hauptsächlich für Anlagenbetreiber, die den größten Teil der erzeugten Energie selber verbrauchen und nur den Überschuss in das öffentliche Netz einspeisen und vergütet bekommen.

Der 2008 in Österreich eingeführte Klima- und Energiefonds fördert Photovoltaik Anlagen bis zu einer Leistung von < 5kWp mit einer einmaligen Investitionsförderung. Im Jahre 2008 wurden in Österreich insgesamt € 8 Mio. vergeben.

2009 wurden bereits € 19 Mio. an Fördermittel aus dem Klima- und Energiefonds für Photovoltaik Anlagen ausgegeben. Bei der Höhe der Investitionsförderung pro installierter kWp wurde zwischen Aufdachanlagen und integrierten Anlagen unterschieden. Für Aufdachanlagen gab es € 2.500 pro kWp und für integrierte Anlagen € 3.200 pro kWp.

Die Förderung startete am 04. August 2009 um 10:00 Uhr und die Anträge konnten ausschließlich online unter www.klimafonds.gv.at/photovoltaik eingebracht werden. Bereits in den ersten Sekunden nach Freischaltung versuchten über 5.000 Bewerber auf den Server zuzugreifen, bis Mittag waren annähernd 6.000 Anträge übermittelt.

82% aller Anträge mussten abgelehnt werden, denn für alle eingebrachten Anträge wären € 100,1 Mio. notwendig gewesen.³⁴

Der Klima und Energiefonds setzt auch 2010 die Förderung von Photovoltaik Anlagen bis maximal 5kWp für private Haushalte fort. Für die Förderprogramme stehen heuer insgesamt € 35 Mio. zur Verfügung welche sich wie folgt zusammensetzen:

- Für freistehende und Aufdachanlagen bis max. 5kWp gilt die Förderungspauschale von € 1.300 pro kWp

³⁴ Vgl.: Bundesverband Photovoltaic Austria, Url: <http://www.pvaustria.at> [24.05.2010]

- Für gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen (GIPV) bis max. 5kWp gilt die Förderungspauschale von € 1.700 pro kWp

Unabhängig von den angegebenen Pauschalsätzen gilt, dass die Förderung des Klima- und Energiefonds 30% der anerkeennbaren Investitionskosten (inkl. USt.) nicht überschreiten darf.³⁵

3.3.2. Tarifförderung

Die Tarifförderung ist im bundesweit gültigen Ökostromgesetz geregelt. Das Ökostromgesetz besteht seit dem Jahr 2002 und wurde mehrfach novelliert. Die derzeit geltende Rechtslage basiert auf dem Gesetz aus dem Jahr 2002, der großen Novelle 2006 sowie kleinen Novellen 2007 und Anfang 2008. Die letzte große Novelle zum Ökostromgesetz wurde am 23. September 2009 im Nationalrat beschlossen.³⁶

Die gesamte Abwicklung der Anträge, Vergabe der Einspeisetarife und die monatliche Auszahlung wird von der Ökostrom Abwicklungsstelle (OeMAG) durchgeführt.

Die Höhe des Einspeisetarifes wird jährlich in der Ökostromverordnung geregelt. Pro Jahr werden für die Tarifförderung € 2,1 Mio. zur Verfügung gestellt mit einer Tariflaufzeit von 13 Jahren.

Der Einspeisetarif für das Jahr 2010 ist für Photovoltaikanlagen, die ausschließlich an oder auf einem Gebäude angebracht sind, wie folgt festgesetzt:

5 kWp bis 20 kWp.....	38 Cent/kWh;
über 20 kWp	33 Cent/kWh.

³⁵ Vgl.: Richtlinien des Klima- und Energiefonds für die „Förderung von Photovoltaik-Anlagen“ 2010

³⁶ Vgl.: Bundesverband Photovoltaic Austria, Url:
<http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=70> [29.05.2010]

Die Preise für die Abnahme elektrischer Energie aus Photovoltaikanlagen, die nicht ausschließlich an oder auf einem Gebäude angebracht sind, ist wie folgt festgesetzt:

5 kWp bis 20 kWp.....	35 Cent/kWh;
über 20 kWp.....	25 Cent/kWh.

Jedoch ist die Tarifförderung von € 2,1 Mio. für das Jahr 2010 bereits vergriffen. Bei der Ökostrom Abwicklungsstelle (OeMAG) reichte die Liste der Antragwerber im September 2010 bereits bis 2014. Das heißt, wer jetzt einreicht, darf sich erst 2014 einen geförderten Tarif für seine Photovoltaikanlage erhoffen.³⁷

3.3.3. Förderung des Landes Steiermark

Das Land Steiermark fördert Photovoltaikanlagen mittels einer Direktförderung. Die Auszahlung erfolgt durch den Umweltlandesfonds.

Diese Direktförderung erhalten sie wenn:

- die Photovoltaikanlage entsprechend dem steiermärkischen Baugesetz errichtet und in Betrieb genommen wurde, sowie allen gesetzlichen Bestimmungen und Normen entspricht
- alle zivilrechtlichen Erfordernisse, insbesondere alle behördlichen Bewilligungen vorliegen
- die Orientierung der Anlage den örtlichen Voraussetzungen zur optimalen Nutzung der eingestrahlten Sonnenenergie entspricht
- der rechnerische Nachweis der Jahresenergieerzeugung der Photovoltaikanlage zumindest 900 kWh pro kWp ergibt
- die Photovoltaikanlage eine Leistung von min. 3kWp aufweist
- ausschließlich neue Komponenten/Anlagenteile verwendet werden
- ein ergänzender Zuschuss durch die jeweilige Gemeinde vorliegt

³⁷ Vgl.: Ökonews, Url: http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1053025 [20.09.2010]

- für die Photovoltaikanlage kein Anspruch auf weitere Zuschüsse oder Förderungen (z.B. OeMAG,...) besteht
- eine saldierte Endabrechnung vorliegt.³⁸

In welchem Ausmaß Sie diese Förderung erhalten, können Sie der nachfolgenden Tabelle entnehmen:

Photovoltaikanlagen	Förderbare Leistung [ab zurechenbarem, erreichtem kWp]	Förderbetrag [€]	
			gesamt
Neuerrichtung oder Erweiterung von Anlagen bei Gebäuden bis zu 2 WE gemäß § 3 Abs. 1 sowie Anlagen gemäß § 3 Abs. 2	3		1.000,-
	4	zusätzlich 250,-	1.250,-
	5	zusätzlich 250,-	max. 1.500,-
Neuerrichtung oder Erweiterung bei Gebäuden ab 3 WE gemäß § 3 Abs. 1	3		1.000,-
	für jedes weitere kWp	zusätzlich 250,-	
	max.15		4.000,-
Sockelbetrag			500,-

Tabelle 4: Art und Ausmaß der Förderung, Quelle: Richtlinie für die Direktförderung von Photovoltaikanlagen; [29.05.2010]

Der Antrag auf Direktförderung ist beim Amt der Steiermärkischen Landesregierung Fachabteilung FA13A erhältlich.

4. Die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage

Bevor man mit dem Bau einer Photovoltaikanlage beginnt muss man sich natürlich auch über die finanzielle Auswirkung einer solchen Investition im Klaren sein. Welche Kosten hier miteinbezogen werden müssen entnehmen Sie den folgenden Absätzen.

³⁸ Vgl.: Amt der Landesregierung Steiermark, Quelle:
http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/dokumente/10760982_23267489/3f05e24c/RL%20PV-Anlagen%2015032010.pdf [29.05.2010]

4.1. Die Investitionskosten der Photovoltaikanlage

Die Investitionskosten als Anschaffungs- und Herstellungskosten einer kompletten Photovoltaikanlage lassen sich in drei Gruppen einteilen.

Das Hauptaugenmerk ist hier auf die Auswahl der Photovoltaikmodule und den Wechselrichter zu richten. Immerhin werden durch diese Komponenten 60-75% der Gesamtkosten für eine Photovoltaikanlage verursacht.

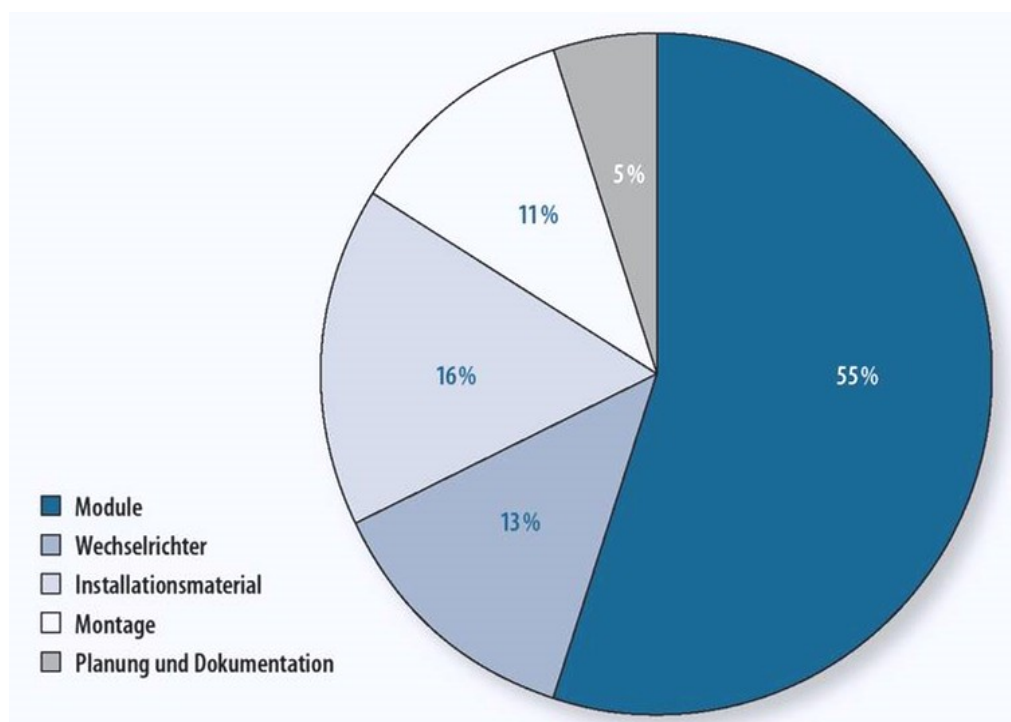


Abb. 11: Kostenaufteilung Photovoltaikanlage, Quelle:
<http://www.photovoltaik.eu/typo3temp/pics/6aa9fa9124.jpg> ;[31.08.2010]

Für dach- oder fassadenintegrierte Photovoltaikanlagen ergeben sich oft höhere Modulkosten durch den Einsatz von Sondermodulen (Sonderanfertigungen) und dadurch, dass diese Module zusätzliche Funktionen übernehmen müssen wie z.B. Wärmeschutz, Schalldämmung und Beschattung. Erst bei homogenen großen Fassadenflächen werden die Kosten wie bei Standardmodulen erreicht.

Zu einer erheblichen Kostendifferenz kommt es vor allem zwischen monokristallinen und amorphen Zellentypen, wobei eine starke Kostenreduktion bei der Produktion von Dünnschichtzellen durch geringeren Materialeinsatz und rationelle Herstellungsverfahren erwartet wird.

Für die Kalkulation der sonstigen Anlagenkomponenten ist vor allem das Montagegestell von Bedeutung. Unterschiede ergeben sich durch die Art der Montage, welche Zusatzfunktionen die Montagekonstruktion aufweisen muss z.B.: bei dach- oder fassadenintegrierten Photovoltaikanlagen muss eine 100%ige Dichtheit gewährleistet werden, aufgeständerte Modulreihen bzw. freistehende Photovoltaikanlagen müssen den Einflüssen von Wind und Schnee standhalten.

Bei der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage ergeben sich lt. Tabelle 5 folgende Investitionskosten, die aus den Materialkosten inkl. der Nebenkosten wie Planung und Montage der Photovoltaikanlage bestehen. Details zu den einzelnen Kosten können Sie dem Anhang 1 entnehmen.

Investition	Gesamtpreis [€]
Sanyo HIT 235Wp Hochleistungsmodule	59.707,20
Fronius IG-Plus 70 Wechselrichter mit Freischaltgehäuse	10.427,43
Solar-Track Nachführsystem inkl. Fundament und Installationsmaterial	34.866,37
Montagearbeiten	5.925,00
Planungskosten	5.000,00
Summe Investitionskosten excl. USt.	115.926,00

Tabelle 5: Investitionskosten der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage

4.2. Betriebskosten der Photovoltaik Anlage

Die Betriebskosten bei Photovoltaikanlagen sind im Vergleich zu anderen Energieerzeugungsanlagen äußerst gering und etwa mit einem Prozent der Gesamtinvestitionskosten angegeben.³⁹

Die Betriebskosten einer Photovoltaikanlage setzen sich aus der Zählermiete für die Netzeinspeisung der Anlage, Wartungs- und Servicearbeiten, die sich größtenteils auf Reinigungsarbeiten und Schneeräumung beschränken, zusammen. Ein Teil der Betriebskosten fällt für die Dachmiete bzw. Flächenpacht bei einer Freiflächenanlage an, Versicherungen sind üblicherweise Haftpflicht, Schadens- und Ausfalls- sowie Diebstahlversicherung.

Da Photovoltaikanlagen außer bei nachgeführten Anlagen, keine bewegten Teile besitzen und für die Lebensdauer der Module vom Hersteller 25 Jahre garantiert werden, ist die Bildung von Reparaturrücklagen in erster Linie für die Wechselrichtereinheit erforderlich. Die Rücklage sollten in der Form gebildet werden, dass ein Tausch der Wechselrichter nach 15 Betriebsjahren erfolgen kann. Handelt es sich um eine Betriebsgesellschaft ist der entsprechende Aufwand für Buchhaltung, Bilanzierung und Gewinnausschüttung einzurechnen. Die Betriebskosten der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage lassen sich wie folgt ermitteln:

Betriebskosten	Gesamtpreis [€]
Versicherung pro Jahr (0,3% der Anschaffungskosten)	347,78
Miete Stromzähler pro Jahr	36,00
Lfd. Wartung, Verwaltung, Buchhaltung, etc. pro Jahr (1% der Anschaffungskosten)	1.159,62
Summe Betriebskosten/Jahr excl. USt.	1.543,40

Tabelle 6: Betriebskostenermittlung

³⁹ Vgl.: Klimawandel Global, Url: <http://www.klimawandel-global.de> [31.08.2010]

Daraus ergeben sich im ersten Jahr Betriebskosten in Höhe von € 1.543,40. Aufgrund der ständigen Preissteigerungen wird in unserer Berechnung mit einer jährlichen Erhöhung von 2% gerechnet.

Als Reparaturintervall für den Wechselrichter wird ein Zeitraum von 15 Jahren angenommen. Die Kosten für den Austauschwechselrichter werden mit € 3.500,00 angenommen.

Jahr	Kosten [€]	Jahr	Kosten [€]
1	1.543,40	14	1.996,55
2	1.574,27	15	5.536,48
3	1.605,75	16	2.077,21
4	1.637,87	17	2.118,75
5	1.670,63	18	2.161,13
6	1.704,04	19	2.204,35
7	1.738,12	20	2.248,44
8	1.772,88	21	2.293,41
9	1.808,34	22	2.339,28
10	1.844,51	23	2.386,06
11	1.881,40	24	2.433,78
12	1.919,02	25	2.482,46
13	1.957,40		
Summe (1-13)	22.657,62	Summe (14-25)	30.277,90

Tabelle 7: Auflistung jährliche Betriebskosten

4.3. Die Ertragssituation der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage

Die Erzeugte Leistung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage wird in den ersten 13 Jahren mit dem OeMAG Einspeisetarif von € 0,35 pro kWh vergütet, danach wird die Leistung zum Marktpreis verkauft.

Um eine Aussage treffen zu können, wo sich der Strompreis in 13 Jahren befinden wird, errechnete ich die durchschnittliche Strompreissteigerung der letzten 6 Jahre (siehe Anhang 2).

Bei dieser Berechnung wurden vom Zeitraum Jänner 2004 bis April 2010 alle monatlichen Strompreise der 13 größten österreichischen Stromanbieter eruiert. Aus diesen Mittelwerten lässt sich die durchschnittliche Strompreissteigerung von 2,65% ermitteln.

Daraus ergibt sich bei einem aktuellen Marktpreis von € 0,17 einen Strompreis im 14. Jahr lt. Zinseszinsrechnung von € 0,24.

Zinseszinsformel:⁴⁰

$$K_n = K_0 * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n \quad 4-1$$

$$K_n = 0,17 * \left(1 + \frac{2,65}{100}\right)^{14} = € 0,24/\text{kWh} \text{ (Strompreis im 14. Jahr)}$$

Anhand dieser Formel kann nun der Strompreis für die restlichen Jahre (15 bis 25) berechnet werden. Die Ertragssituation für die Jahre 1 bis 25 entnehmen Sie der folgenden Tabelle.

Jahr	Ertrag [kWh]	OeMAG [€/kWh]	Erlös [€]	Jahr	Ertrag [kWh]	Marktpreis [€/kWh]	Erlös [€]
1	28.188,72	0,35	9.866,05	14	26.757,58	0,24	6.421,82
2	28.075,97	0,35	9.826,59	15	26.650,54	0,25	6.565,63
3	27.963,66	0,35	9.787,28	16	26.543,94	0,25	6.712,66
4	27.851,81	0,35	9.748,13	17	26.437,77	0,26	6.862,98
5	27.740,40	0,35	9.709,14	18	26.332,02	0,27	7.016,67
6	27.629,44	0,35	9.670,30	19	26.226,69	0,27	7.173,80
7	27.518,92	0,35	9.631,62	20	26.121,78	0,28	7.334,45
8	27.408,84	0,35	9.593,10	21	26.017,29	0,29	7.498,70
9	27.299,21	0,35	9.554,72	22	25.913,22	0,30	7.666,63
10	27.190,01	0,35	9.516,50	23	25.809,57	0,30	7.838,31
11	27.081,25	0,35	9.478,44	24	25.706,33	0,31	8.013,84
12	26.972,93	0,35	9.440,52	25	25.603,51	0,32	8.193,31
13	26.865,04	0,35	9.402,76				
Summe (1-13)			125.225,17	Summe (14-25)			87.298,81

Tabelle 8: Ertragsberechnung Photovoltaik Gemeinschaftsanlage

⁴⁰ Vgl.: Becker Hans: Wirtschaftsmathematik, Problemlösung; 1. Auflage 2007, Seite 22

Für diese Ertragsrechnung existieren Internettools und umfangreiche Computerprogramme. Die Berechnungsprogramme im Bereich Photovoltaik sind vielfältig. Bei der Planung beispielsweise gilt es, die Photovoltaikanlage auszulegen und zu optimieren. Mit Auslegungs- und Simulationsprogrammen lassen sich Grenzwerte und Betriebszustände prüfen. Für genaue Ertragsprognosen ist die Anwendung von Simulationsprogrammen notwendig.⁴¹ Die am Markt eingesetzten Programme werden in den folgenden Absätzen genauer erläutert.

Mit Hilfe von **Simulationsprogrammen** können eigene Simulationsmodelle geschrieben werden und in die Berechnung implementiert werden. Diese Programme werden vor allem im Forschungs- und Entwicklungsbereich der Photovoltaik eingesetzt.

Beispiele für solche Programme wären: TRNSYS, SMILE, INSEL

Des Weiteren gibt es **Ergänzungsprogramme**. Diese Programme liefern Einstrahlungsberechnungen und Verschattungsanalysen sowie Komponentenbibliotheken und Wetterdaten.

Beispiele für solche Programme wären: Solar-Trak ShaSim; METONORM

Basierend auf statische Verfahren in Kombination mit einfachen Berechnungen werden in **Kalkulationsprogrammen** meist die Erträge auf Basis von Monatswerten bestimmt. Diese Kalkulationsprogramme sind anwendungsnah und liefern sehr schnell Ergebnisse, jedoch sind sie wenig flexibel und nur für Standard Photovoltaikanlagen verwendbar.

Beispiele für solche Programme wären: SOLinvest; NSOL

Zeitschrittsimulationsprogramme sind wegen ihres breiten Anwendungsspektrums weit verbreitet. Es werden Modelle verwendet, die das reale System möglichst genau nachbilden sollen. Es sind Modelle für verschiedene Komponenten wie Photovoltaik Module, Wechselrichter, Batterien oder Verbraucher mit zahlreichen festgelegten Anlagenvarianten implementiert.⁴²

⁴¹ Vgl.: Bettenwort Gerd: Bereitstellung güterbewerteter Datenbasen und Module zur Einstrahlungsklimatologie, OTTI, Regensburg, 2008, S. 591 f.

⁴² Vgl.: Hunfeld, Rainer: Einfluss der Stringverschattung auf die Ertragssimulation in PV*SOL, OTTI, Regensburg, 2008, S.458f.

Beispiele für solche Programme wären: PV*SOL, PVcad, PV-DesignPro

Noch zu erwähnen wären **Auslegungsprogramme**. Diese Programme ermöglichen eine Nachbildung und Analyse des Gesamtsystems und unterstützen bei der Auslegung und Dimensionierung der Photovoltaikanlage. Am Markt werden zwei herstellerunabhängige Programme angeboten: Insolar (berechnet die Verschaltung von Modulen und Wechselrichter) und Photovoltaik-Professional (visualisiert den Materialaufwand).

Am Markt gibt es eine große Zahl herstellerabhängiger Programme. Diese konzentrieren sich auf die Auslegung des Wechselrichters und der Photovoltaikmodule und ermöglichen eine standortbezogene Anlagendimensionierung und Ertragsberechnung.

Beispiele für solche Programme wären: Schletter Autokalkulator_12.34_D, Fronius Solar.configurator, Siblik Elektrik- Kalk Netzkopplung (Version 1-6-2007)

4.4. Investitionsrechnung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage

Die Investitionsrechnung (Wirtschaftlichkeitsrechnung) hat die Aufgabe, den zukünftigen Investitionserfolg zu prognostizieren und zu bewerten.⁴³ Dazu können statische und dynamische Verfahren der Investitionsrechnung angewendet werden.

Zu den statischen Verfahren gehören die Kostenvergleichsrechnung, Gewinnvergleichsrechnung, Rentabilitätsvergleichsrechnung und die statische Amortisationsrechnung. Sie werden als statisch bezeichnet, weil sie zeitliche Unterschiede im Auftreten von Einnahmen und Ausgaben nicht, oder nur unvollkommen berücksichtigen. Dadurch sind sie für die Bewertung von Photovoltaikanlagen weniger geeignet, da es zwischen den Anfangs-

⁴³ Vgl.: Wöhe Günter, Döring Ulrich: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München 2008, S.524

und Folgekosten große Differenzen gibt und die Einzahlung durch den verkauften Strom variieren kann.⁴⁴

Zu den dynamischen Verfahren zählen die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode, die dynamische Amortisationsrechnung und die Interne Zinsfußmethode. Hier werden dem zeitlichen Ablauf der Investitions- und den darauf folgenden Desinvestitionsvorgängen konzeptionell Rechnung getragen. Diese besondere Berücksichtigung des Zeitfaktors findet bei dynamischen Verfahren vor allem in der Verwendung von Zinsrechnungen seinen Ausdruck. Aufgrund dessen, dass die Einnahmen und Ausgaben zu unterschiedlichen Zeitpunkt anfallen bedarf es bei der Berechnung von dynamischen Investitionsrechenverfahren einer Unterstützung durch finanzmathematische Methoden.⁴⁵

Für die Berechnung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage wird das dynamische Verfahren angewendet, da es im Vergleich zum statischen Verfahren die unterschiedlichen Erträge, die Energiepreissteigerungen, inflationsgebundene Steigerungen von Ausgaben, oder Degradation (zeitlich bedingte Herabsetzung, Minderung) der Leistung bei Photovoltaikanlagen, berücksichtigt.⁴⁶

Anschließend werden mit Hilfe der Kapitalwertmethode, der Annuitätenmethode, der dynamischen Amortisationsrechnung und der internen Zinsfußmethode die wichtigsten Berechnungsgrößen genauer erläutert.

4.4.1. Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode ist das gängigste Verfahren zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Investitionsprojekten. Zur Ermittlung des Kapital-

⁴⁴ Vgl.: Schierenbeck Henner, Wöhle Claudia: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre, München 2008, S.388f

⁴⁵ Vgl.: Schierenbeck Henner, Wöhle Claudia: a.a.O, S.389f

⁴⁶ Vgl.: Olfert Klaus, Rahn Horst-Joachim: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Ludwigshafen 2008, S. 54

wertes C_0 werden die zu unterschiedlichen Zeitpunkten erwarteten Zahlungen durch Abzinsung (Diskontierung) auf t_0 vergleichbar gemacht.⁴⁷

Ein positiver Kapitalwert sagt aus, dass die Investition aus betriebswirtschaftlicher Sicht als „Sinnvoll“ betrachtet werden kann, da nach Abzug aller investitionsbedingten Auszahlungen und erwarteten Zinsen ein positiver Kapitalwert erwirtschaftet wird.

Ist der Kapitalwert gleich Null, bedeutet das, dass die Einzahlungen lediglich die Auszahlungen decken.

Ist der Kapitalwert negativ ist die Investition als „Nicht Sinnvoll“ zu betrachten, da die Auszahlungen höher sind als die Einzahlungen und somit die Investition nicht einmal kostendeckend ist.

Zunächst werden alle zukünftigen Einnahmen und Ausgaben der Investition ermittelt und verrechnet. Aus diesen Nettozahlungen werden die Barwerte errechnet.

Die Ermittlung des **Barwertes** dient dazu, Einzahlungen und Auszahlungen zu berechnen, die erst in der Zukunft getätigt werden. Dabei wird der Wert ermittelt, der zu Beginn des Betrachtungszeitraumes existiert hätte.⁴⁸

Dieser Wert kann für einmalige oder mehrerer Zahlungen berechnet werden. Bei einer einmaligen Zahlung ergibt sich der Barwert aus Multiplikation des Zeitwertes der Zahlung mit dem Abzinsungsfaktor ($AbF = \frac{1}{q^n}$).

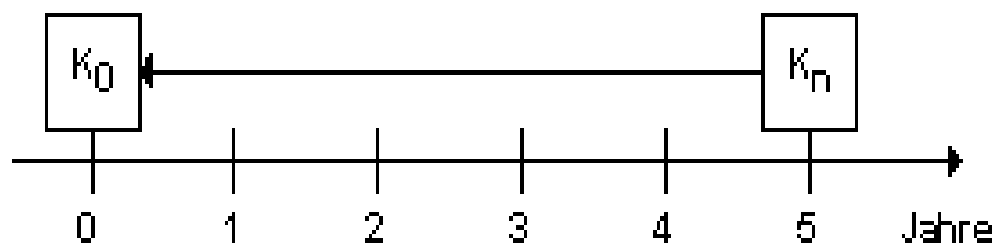


Abb. 12: Schema Barwert mit einmaliger Zahlung, http://www.it-infothek.de/images/semester_2/bwl_14.gif [09.09.2010]

⁴⁷ Vgl.: Wöhe Günter: a.a.O, S.537

⁴⁸ Vgl.: Heinen Edmund: Industriebetriebslehre, Wiesbaden 1991, S. 930

$$K_0 = K_n * \frac{1}{q^n} \quad 4-2$$

oder

$$K_0 = K_n * \frac{1}{(1-i)^n} \quad 4-3$$

Handelt es sich um mehrmalige jährliche Zahlungen (Rate) e mit gleich hohen Beträgen so ergibt sich der Barwert durch die Multiplikation der jährlichen Rate mit dem Barwertfaktor⁴⁹

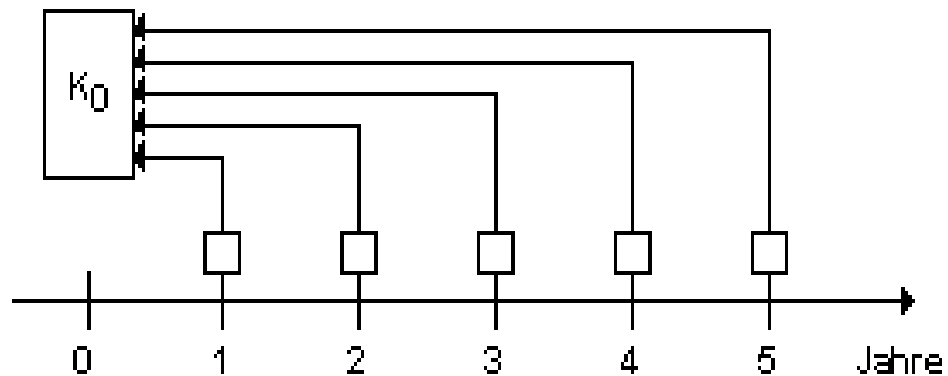


Abb. 13: Schema Barwert mit mehrmaliger Zahlung http://www.it-infothek.de/images/semester_2/bwl_15.gif [09.09.2010]

Daraus ergibt sich folgende Formel:

$$K_0 = e * \frac{q^n - 1}{q^n * (q - 1)} \quad 4-4$$

Handelt es sich jedoch um mehrmalige jährliche Zahlungen mit unterschiedlich hohen Beträgen, so müssen für jedes Jahr die Auszahlungen und Einzahlungen ermittelt werden und auf t_0 abgezinst werden.

Daraus ergibt sich folgende Formel:

⁴⁹ Vgl.: Olfert, Klaus, a.a.O S.187

$$K_0 = \sum_{k=1}^n \frac{e_k - a_k}{q^k} \quad 4-5$$

Um den Kapitalwert zu erhalten wird aus der Summe der einzelnen Barwerte der Anschaffungswert der Investition abgezogen und ein eventueller Restwert addiert.⁵⁰

Der daraus resultierende Betrag kann über folgende Formel berechnet werden.

$$C_0 = -a_0 + \left(\sum_{k=1}^n \frac{e_k - a_k}{q^k} \right) + \frac{L}{q^n} \quad 4-6$$

Im weniger praxisbedeutsamen Fall, dass die jährlichen Überschüsse gleichbleibend sind, kann auf eine tabellarische Ermittlung des Kapitalwertes verzichtet werden.

$$C_0 = -a_0 + \ddot{U} * \frac{q^n - 1}{q^n * (q - 1)} + \frac{L}{q^n} \quad 4-7$$

Bei gleichbleibenden Überschüssen ändert sich die Formel, wenn eine unendliche Nutzungsdauer unterstellt wird:

$$C_0 = -a_0 + \ddot{U} * \frac{1}{i} \quad 4-8$$

⁵⁰ Vgl.: Eilenberger Guido: Betriebliche Finanzwirtschaft, München, 1997, S. 160

Kapitalwertberechnung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage

Berechnung der Barwerte anhand der Formel 4-5

Jahr	Einzahlung [€]	Auszahlung [€]	Abf 1,9%	Summe [€]	Kum. [€]
1	9.866,05	1.543,40	0,9814	8.167,47	8.167,47
2	9.826,59	1.574,27	0,9631	7.947,45	16.114,92
3	9.787,28	1.605,75	0,9451	7.732,36	23.847,27
4	9.748,13	1.637,87	0,9275	7.522,08	31.369,36
5	9.709,14	1.670,63	0,9102	7.316,52	38.685,88
6	9.670,30	1.704,04	0,8932	7.115,56	45.801,44
7	9.631,62	1.738,12	0,8766	6.919,11	52.720,55
8	9.593,10	1.772,88	0,8602	6.727,06	59.447,62
9	9.554,72	1.808,34	0,8442	6.539,30	65.986,91
10	9.516,50	1.844,51	0,8284	6.355,74	72.342,66
11	9.478,44	1.881,40	0,8130	6.176,30	78.518,96
12	9.440,52	1.919,02	0,7978	6.000,87	84.519,83
13	9.402,76	1.957,40	0,7830	5.829,37	90.349,19
14	6.421,82	1.996,55	0,7684	3.400,17	93.749,37
15	6.565,63	5.536,48	0,7540	776,01	94.525,37
16	6.712,66	2.077,21	0,7400	3.430,09	97.955,46
17	6.862,98	2.118,75	0,7262	3.445,12	101.400,58
18	7.016,67	2.161,13	0,7126	3.460,21	104.860,79
19	7.173,80	2.204,35	0,6993	3.475,35	108.336,14
20	7.334,45	2.248,44	0,6863	3.490,55	111.826,69
21	7.498,70	2.293,41	0,6735	3.505,80	115.332,49
22	7.666,63	2.339,28	0,6609	3.521,11	118.853,60
23	7.838,31	2.386,06	0,6486	3.536,47	122.390,06
24	8.013,84	2.433,78	0,6365	3.551,88	125.941,94
25	8.193,31	2.482,46	0,6247	3.567,35	129.509,30
Summe	212.523,95	52.935,53		129.509,30	

Tabelle 9: Auflistung der jährlichen Barwerte

Der Kapitalwert errechnet sich hier aus der Summe der abgezinsten Barwerte abzüglich der Investitionskosten.

$$\text{Kapitalwert } C_0 = -115.962 + 129.509,30 = \text{€ } 13.547,30$$

Die erste Stufe der Berechnung ergibt einen positiven Kapitalwert in der Höhe von € 13.547,30 somit ist die Investition der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage als „**sinnvoll**“ anzusehen.

4.4.2. Annuitätenmethode

Diese Methode eignet sich ebenfalls zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer Investition. Der Unterschied zur Kapitalwertmethode ist, dass die Annuitätenmethode den Jahreserfolg anzeigt und die Kapitalwertmethode den Totalerfolg in „n“ Jahren anzeigt. Dies hat den Vorteil, dass der Investor nicht nur den Gesamtüberschuss, sondern auch die Höhe der durchschnittlichen Jahresüberschüsse erkennt.⁵¹

Steht ein Investor vor der Entscheidung, welche der Investitionsalternativen am besten wäre, dann sollte er sich für die Alternative mit der höchsten jährlichen Annuität entscheiden, sofern diese positiv ist. Rangentscheidungen nach der Annuitätenmethode führen bei einheitlicher Nutzungsdauer der Investitionsobjekte zum gleichen Ergebnis wie bei der Kapitalwertmethode.⁵²

In der zweiten Stufe der Berechnung wird die jährliche Annuität ausgerechnet um einen besseren Überblick über die jährlich mögliche Entnahme zu bekommen.

Da es sich bei unserer Gemeinschaftsanlage um eine Beteiligungsfinanzierung handelt und zu t_0 die Investitionsauszahlung gleichzeitig mit der Einzahlung der Anteilseigner gegengerechnet wird, können die jährlichen Einzahlungsüberschüsse direkt an die Anteilseigner aufgeteilt werden. Die Kosten zu t_0 müssen nicht wie bei der Kapitalwertmethode abgezogen werden, da diese in unserem Beteiligungsmodell € 0,00 sind.

Der Zusammenhang zwischen Kapitalwertmethode und der Annuität lässt sich formal wie folgt zeigen:

⁵¹ Vgl.: Perridon, Luis/Steiner Manfred: Finanzwirtschaft der Unternehmen, München, 1995, S.64

⁵² Vgl.: Wöhe Günter: a.a.O., S. 542

$$d = C_0 * \frac{q^{n*}(q-1)}{q^n-1} \quad 4-9$$

$$d = \left(-a_0 + \left(\sum_{k=1}^n \frac{e_k - a_k}{q^k} \right) + \frac{L}{q^n} \right) * \frac{q^{n*}(q-1)}{q^n-1} \quad 4-10$$

Anhand dieser Formel lässt sich für unsere Photovoltaik Gemeinschaftsanlage folgende Annuität ermitteln:

$$d = 129.509,30 * \frac{1,019^{25} * (1,019 - 1)}{1,019^{25} - 1} = € 6.555,90$$

Um über dieses Ergebnis eine Aussage treffen zu können, muss man sich den Ertrag aus einer risikolosen Alternativveranlagung über den gleichen Zeitraum ansehen. Da die Veranlagung in Bundesschatzanleihen auf eine Dauer von 25 Jahren nicht möglich ist, wird in dieser Berechnung die Veranlagung auf einem Sparbuch mit einem Zinssatz von 2% p.a. herangezogen.⁵³

Der Zinsertrag aus den Sparbuchzinsen muss noch um 25% KEST. gekürzt werden. Somit kommt man auf eine tatsächliche Verzinsung von 2% - 25% = 1,5%. Da man jedoch auch noch die Komponente der Inflation berücksichtigen muss und diese lt. durchgeführter gewichteter Prognoserechnung (Anhang 3) bei 1,9% liegt, fällt der Zinssatz der Sparbuchveranlagung auf 1,5% - 1,9% = - 0,4%.

Das heißt, dass lt. dieser Berechnung die risikolose Veranlagung in ein Sparbuch mit 2% langfristig nicht als sinnvoll zu erachten ist. Dieses Szenario kann man natürlich mit beliebig hohen Zinssätzen durchspielen. Erst ab einem Zinssatz von ~ 4,5% rentiert sich eine Veranlagung in eine der herkömmlichen Sparformen.

⁵³ Vgl.: Sparkasse, Url: <https://www.sparkasse.at/Konditionsübersicht.html> [22.09.2010]

4.4.3. Dynamische Amortisationsrechnung

Bei der dynamischen Amortisationsrechnung wird, wie auch bei der statischen Amortisationsrechnung, die Zeitdauer ermittelt, welche eine Investition benötigt um das eingesetzte Kapital inklusive einer Verzinsung zu erwirtschaften.

Anders als bei der statischen Amortisationsrechnung ist, dass bei der dynamischen Amortisationsrechnung die Barwerte der Rückflüsse so lange kumuliert werden, bis die Investitionssumme erreicht ist.⁵⁴

Die Amortisationszeit sollte auf jeden Fall kürzer sein als die zu erwartende Lebensdauer bzw. die Nutzungsdauer eines Investitionsobjektes.

Bei der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage ergibt sich anhand der kumulierten jährlichen Barwertrechnung (Tabelle 9), dass sich die Investitionskosten von € 115.962,00 zwischen dem 21. und 22. Jahr amortisieren. Somit kann man bei einer Nutzungsdauer von 25 Jahren die Investition als Vorteilhaft sehen.

Jahr	Einzahlung [€]	Auszahlung [€]	Abf 1,9%	Summe [€]	Kum. [€]
20	7.334,45	2.248,44	0,6863	3.490,55	111.826,69
21	7.498,70	2.293,41	0,6735	3.505,80	115.332,49
22	7.666,63	2.339,28	0,6609	3.521,11	118.853,60

Tabelle 10: Dynamische Amortisationsrechnung

4.4.4. Interne Zinsfußmethode

Die interne Zinsfußmethode leitet sich von der Kapitalwertmethode ab. Während bei der Kapitalwertmethode mit einem Zinssatz i gerechnet wird, wird bei diesem Verfahren der Zinssatz gesucht. Hierbei ist der Barwert aller zukünftigen Einzahlungen und Auszahlungen gleich Null. Dadurch lässt sich mit dieser Rechenmethode die Kapitalrentabilität errechnen.

⁵⁴ Vgl.: Schierenbeck Henner, Wöhle Claudia: a.a.O, S. 417f

Folgende Formel dient zur Berechnung der Verzinsung

$$0 = -a_0 + \left(\sum_{k=1}^n \frac{e_k - a_k}{q^k} \right) + \frac{L}{q^n} \quad 4-11$$

Für die numerische Lösung kann folgende Formel herangezogen werden

$$i_{int} = i_1 - C_{01} * \frac{i_2 - i_1}{C_{02} - C_{01}} \quad 4-12$$

Die Investitionsalternative ist vorteilhaft, wenn der interne Zinsfuß größer oder gleich der zuvor festgelegten Mindestverzinsung ist. Werden mehrere Alternativen miteinander verglichen, so gilt die Investitionsalternative mit dem höchsten internen Zinssatz als vorteilhaft.

Für die Berechnung der Internen Zinsfußmethode für die Gemeinschaftsanlage wird der Barwert mit einem Zinssatz von 6% gerechnet (siehe Anhang 4), daraus ergibt sich der Kapitalwert C_{02}

$$C_{02} = -115.962 + 88.416,55 = -27.545,50$$

Anhand dieser Ergebnisse lässt sich nun mit Hilfe der Formel 5-7 folgender Zinssatz berechnen:

$$i_{int} = 1,9 - 13.547,30 * \frac{6 - 1,9}{-27.545,45 - 13.547,30} = 3,25\%$$

Dieses Ergebnis bedeutet, dass bei der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage mit einer Rendite von 3,25% gerechnet werden kann.

5. Beteiligungsmodell der Photovoltaik

Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“

Die Finanzierung der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage durch ein Beteiligungsmodell durchzuführen, garantiert die Akzeptanz sowie die Identifikation der einzelnen Personen mit dem Thema Energie und neuen Technologien. Personen können so auch mit kleinen zur Verfügung stehenden Beträgen aktiv am Umweltschutz beitragen und haben nebenbei noch eine sichere Sparform. Dieses System wird in Deutschland seit Jahren erfolgreich praktiziert, tritt in Österreich hervorgerufen durch die Rahmenbedingungen aus dem Ökostromgesetz aber noch kaum auf.

5.1. Art der Beteiligung

Wenn man sich an der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage beteiligen möchte, erfolgt dies mittels Anteilen. Der Preis für einen Anteil ist mit € 5.000,00 festgelegt. Die Überlegung mit der Begrenzung auf € 5.000,00 pro Anteil hat den Hintergrund, dass der Verwaltungsaufwand bei kleineren Beteiligungsbeträgen den Rahmen sprengen würde und sich ein erhöhter Verwaltungsaufwand auch negativ auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung des „Energiepark Großradl“ auswirken würde.

Die Gesamtinvestitionskosten in Höhe von € 115.962,00 werden somit in 23 Anteile aufgeteilt. Der Restbetrag von € 962,00 wird von den Initiatoren, welche selbst auch Anteilseigner sind, mitgetragen.

Für die Anteilseigner ist natürlich der Ertrag aus der Investition von Relevanz. Bei einer jährlichen Annuität von € 6.555,90, welche im Unterkapitel 4.4.2. Annuitätenmethode, berechnet wurde und 23 Anteilseignern; ergibt sich eine durchschnittliche jährliche Annuität pro Anteilsinhaber in Höhe von € 285,04.

Hochgerechnet auf 25 Jahre bedeutet dies pro Anteilseigner einen Ertrag von € 7.126,00. Zieht man von diesem Betrag die Anfangsinvestition in Höhe von € 5.000,00 ab, so erhält man einen Reingewinn von € 2.126,00.

5.2. Rechtlicher und steuerlicher Aspekt

Als Gesellschaftsform für die Gemeinschaftsanlage ist die Gründung einer Kommanditgesellschaft (KG) angedacht. Diese Gesellschaftsform ist eine unter eigener Firma geführte Gesellschaft, bei der zumindest bei einem Gesellschafter die Haftung gegenüber den Gesellschaftsgläubigern auf den Betrag einer bestimmten Vermögenseinlage beschränkt sein muss, dieser wird als Kommanditist bezeichnet. Der unbeschränkt haftende Gesellschafter wird als Komplementär bezeichnet.

Die Gründung der Kommanditgesellschaft erfolgt mit dem Abschluss eines Gesellschaftsvertrages, bei dem keine bestimmte Form gesetzlich vorgeschrieben ist. Erst durch den Eintrag ins Firmenbuch entsteht die Gesellschaft.

Die Haftung der Komplementäre ist unbeschränkt, solidarisch und direkt. Das heißt, dass der Komplementär mit seinem gesamten Betriebs- und Privatvermögen haftet und der Gläubiger sich sofort an den Gesellschafter wenden kann, ohne vorher die Gesellschaft klagen zu müssen.

Der Kommanditist haftet indessen nur mit einem bestimmten Betrag, nämlich der Kommandit- oder Hafteinlage, die in das Firmenbuch eingetragen wird. Die Höhe der Einlage ist im Gesellschaftsvertrag festzulegen.

Geschäftsführungs- und Vertretungsbefugt sind grundsätzlich nur die Komplementäre. Abweichende gesellschaftliche Regelungen sind aber möglich, diese müssen jedoch im Firmenbuch eingetragen werden. Dem Kommanditisten steht bei gewöhnlichen Geschäften kein Mitspracherecht- bzw. Widerspruchrecht zu. Ungewöhnliche Geschäfte bedürfen der Zustimmung aller Gesellschafter.

Bei der Benennung der Kommanditgesellschaft kann zwischen einer Namen-, Sachfirma oder einer Fantasiebezeichnung gewählt werden. Es ist aber zwingend notwendig einen Rechtsformzusatz wie z.B. „Kommanditgesellschaft“ oder einfach „KG“ zu führen.

Die Beendigung der Gesellschaft erfolgt bei der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage nach 25 Jahren, wodurch sie durch einen Abschichtungsvertrag in den Privatbesitz der Familie Nauschnegg übergeht.

Weitere Möglichkeiten zur Beendigung einer Gesellschaft bestehen z.B. durch einen Beschluss der Gesellschaft, dem Konkurs der Gesellschaft, beim Tod eines Komplementär (sofern im Gesellschaftsvertrag nicht anders geregelt), oder bei Auflösung der Gesellschaft aus wichtigem Grund.

Genaue Gesellschaftsvertragsbedingungen werden im Zuge einer Sitzung gemeinsam mit allen Anteilseignern besprochen und auch beschlossen.

Die Kommanditgesellschaft gilt nicht als selbstständiges Steuersubjekt. Für die Ermittlung der Einkommensteuer ist vielmehr der einzelne Gesellschafter Steuersubjekt. Für die Kommanditgesellschaft besteht erst ab der Überschreitung der Rechnungslegungsgrenzen die Verpflichtung zur doppelten Buchführung und Bilanzerstellung.

Die Gesellschaft und jeder einzelne Gesellschafter benötigen eine eigene Steuernummer. Die Steuernummer der Kommanditgesellschaft ist unter Vorlage einer Fotokopie des Gesellschaftsvertrages und eines Firmenbuchauszuges innerhalb eines Monats ab Aufnahme der Tätigkeit beim Betriebsfinanzamt zu beantragen, die Steuernummern der Gesellschafter sind beim jeweiligen Wohnfinanzamt zu beantragen.

Welche steuerliche Auswirkung die Beteiligung an der Gemeinschaftsanlage für jeden einzelnen Anteilseigner hat, wird in einer der Sitzungen gemeinsam mit einem Steuerberater erhoben.

5.3. Vorteile- und Risiken der Gemeinschaftsanlage

Eine Investition bedeutet die Festlegung von Kapital für eine mehr oder weniger lange Frist. Gerade bei der Planung der zukünftigen Ein- und Auszahlungen muss immer mit dem Risiko des Nichteintretens der prognostizierten Werte gerechnet werden. Welche Risiken mit der Investition in die Gemeinschaftsanlage zusammenhängen bzw. welche Vorteile der Bau der Gemeinschaftsanlage bringt, wird in den folgenden Absätzen näher erläutert.

Eines der Hauptrisiken ist die zukünftige **Strompreisentwicklung**. Die Zukunftsprognose beruht auf einem gewichteten Durchschnittswert von Vergangenheitswerten. Weicht der tatsächliche Wert in z.B. 17 Jahren stark von dem in der Berechnung verwendeten Wert ab, kann dies elementare Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung haben.

Ein weiteres Risiko besteht bei den **Investitionsauszahlungen**. Da die Technik in ständiger Entwicklung ist und die Modulkosten stark vom aktuellen Stand der Technik abhängen, ist dies ein weiterer unsicherer Faktor in unserer Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Können nicht alle **23 Anteile** vergeben werden, besteht die Pflicht zur Fremdfinanzierung durch einen Bankkredit. In diesem Fall muss ein zusätzlicher Zinsaufwand in die Wirtschaftlichkeitsberechnung miteinbezogen werden, was sich negativ auf den Kapitalwert bzw. die jährliche Rendite pro Anteilseigner auswirkt.

Trotz Sparapellen wird der **Stromverbrauch** in den nächsten Jahren stetig steigen. Die zunehmende Computerisierung sowie Automatisierung, erhöhter Strombedarf bei Umwelttechnologien wie z.B. Wärmepumpen sowie die zunehmende E-Mobilität, wird in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen.

Durch den zunehmenden Stromverbrauch, der daraus resultierenden Nachfrage und sicheren Abnahme des produzierten Stroms, kann man die Investition in eine Photovoltaikanlage als **krisensichere Geldanlage** betrachten.

Durch die Einsparung von ~ 12 Tonnen CO₂ pro Jahr trägt die Gemeinschaftsanlage auch nachhaltig dem **Umweltschutz** bei. Weiters unterbindet man die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen wie Öl, Gas, oder Kohle.

6. Ausblick und Schlussbemerkung

Im abschließenden Kapitel wird kurz das zusätzliche Vermarktungspotenzial des „Energiepark Großradl“ dargestellt, sowie auf die zukünftig ge-

planten Ausbauschritte dieses Projekts näher eingegangen und weitere Projekte vorgestellt. Abschließend folgen ein paar zusammenfassende Worte betreffend der Ergebnisse aus dieser Diplomarbeit.

6.1. Zusätzliche Vermarktung des Energieparks

Die Photovoltaik Gemeinschaftsanlage soll zusätzlich auch als Informations- und Lernpark dienen. Interessierte Personen und vor allem Schulen sollten anhand des Energieparks sehen, lernen und verstehen wie und was Photovoltaik ist.

Es werden, abhängig von staatlichen Förderungen und Zuschüssen, kleine Musteranlagen gebaut, wo man mit praktischen Übungen lernen und verstehen kann wie Strom aus Sonnenenergie entsteht.

Weiters soll der Energiepark als touristische Besonderheit in unserer Region dienen und in Kooperation mit der Gemeinde anhand von Informationsabenden und Besichtigungen das Bewusstsein der Bevölkerung betreffend Umweltschutz und nachhaltige Energieerzeugung wecken.

Mit der Landesberufsschule für Elektroinstallationstechnik und Radiomechanik in Eibiswald wird eine weitere Kooperation angestrebt. Schüler sollen die Möglichkeit erhalten, den Weg vom Sonnenstrahl bis hin zum Strom aus der Steckdose, anhand von praktischen Übungen zu erlernen bzw. zu erleben. „Learning by doing“ steht in diesem Zusammenhang an oberster Stelle.

In der zweiten Ausbaustufe werden verschiedene Modularten verwendet und somit auch die verschiedenen Ertragssituationen gegenübergestellt. Diese **Materialtests** sind besonders für die unterschiedlichen Anforderungen an Photovoltaikanlagen (nicht optimale Ausrichtung, geringer Neigungswinkel, hoher Anteil an diffusem Licht usw.) von großer Bedeutung.

Nicht nur für die Gemeinde Großradl wird diese Photovoltaik Gemeinschaftsanlage von großem Nutzen sein, auch über die Steiermark hinaus werden interessierte Menschen den Weg zu uns finden.

6.2. Zukünftige Ausbaupläne

Die erste Ausbauphase ist die in der Diplomarbeit geplante Photovoltaik Gemeinschaftsanlage mit einer Gesamtleistung von 19,74 kWp. Durch das positive Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind wir in unserer Meinung bestärkt und wollen somit nach Fertigstellung der Gemeinschaftsanlage mit der Detailplanung der zweiten Ausbaustufe beginnen.

In der zweiten Ausbaustufe ist eine 80kWp Photovoltaik Freiflächenanlage geplant. Von der Gemeinde wurde die Freiflächenanlage bereits kommissioniert und genehmigt. Die Investition der Anlage wird nicht mehr in Form einer Beteiligungsfinanzierung durchgeführt, sondern von der Firma meines Vaters mit Eigenmitteln bzw. Krediten finanziert.

Es ist zurzeit noch ungewiss, wie sich die Tarifförderung entwickeln wird. Gerade im Bereich des Ökostromgesetzes tut sich in Österreich momentan sehr viel. Evtl. gibt es eine Totalumstellung im Förderbereich von Photovoltaikanlagen.

Bei einem momentanen Einspeisetarif von € 0,25/kWh ist es jedoch unmöglich, umgelegt auf die enormen Investitionskosten der 80kWp Anlage, einen positiven Kapitalwert zu erreichen.

6.3. Schlussbemerkung

Die Photovoltaik Gemeinschaftsanlage ist für alle Beteiligten eine Sachwertanlage mit einer Rendite von 3,25%. Im Vergleich zur Alternativveranlagung in ein herkömmliches Sparbuch ist die Gemeinschaftsanlage eine sinnvolle langfristige Geldanlage mit geringem Risiko.

Der Bundesverband Photovoltaic Austria rechnet in seinen Berechnungsbeispielen mit einer jährlichen Strompreissteigerung von 4%.⁵⁵ Jedoch setzt sich diese Strompreissteigerung nur aus Annahmen und Vermutungen, wie sich der Strompreis in Zukunft entwickeln könnte zusammen und es konnten mir keine nachweislichen Berechnungen und anerkannte Statistiken seitens

⁵⁵ Vgl.: Bundesverband Photovoltaic Austria,
Url: <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=262> [12.09.2010]

des Verbandes vorgelegt werden. Daher wurde für die Berechnung in dieser Diplomarbeit eine durchschnittliche Strompreissteigerung von 2,65% angenommen. Das bedeutet aber auch, dass das Ergebnis meiner Wirtschaftlichkeitsberechnung auf einer konservativen und äußerst zurückhaltenden Art und Weise ermittelt wurde und dennoch eine Rendite von 3,25% ergab. Dadurch ist die Investition in die Photovoltaik Gemeinschaftsanlage auch für „vorsichtige“ und „risikoscheue“ Personen eine gute Geldanlage.

Das Beteiligungsmodell der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage wird in unserer Region aber auch über die Grenzen hinaus zukünftig immer mehr Interesse entwickeln, da dieses Berechnungsmodell nicht auf Großinvestoren und Unternehmern als potentielle Investoren zugreift. Unser Ziel ist es, Familien und Personen die sich zur „Mittelschicht“ in Österreich zählen zu informieren und motivieren, dass sich Photovoltaikanlagen auch in Österreich wirtschaftlich rechnen und als sinnvolle Investition angesehen werden können und ihnen mit der Gemeinschaftsanlage die Chance gegeben wird, ihr Geld sinnvoll anzulegen.

Ein weiterer Grund ist, dass wir mit dieser Gemeinschaftsanlage auch für unser Unternehmen einen großen Nutzen ziehen können, da es für uns eine große überregionale Werbung ist und wir mit dem Beteiligungsmodell diese Photovoltaik Anlage leichter finanzieren können.

Der Nutzen für die Gemeinde bzw. die Öffentlichkeit ist, dass es eine Initiative in die Zukunft ist und eine Attraktion und dadurch zu einer Verstärkung des Tourismus führen kann, da es in unserer Region bis dato noch kein ähnliches Projekt gibt, wo sich interessierte Personen mit dem Thema Photovoltaik praktisch auseinandersetzen können.

Das Projekt der Photovoltaik Gemeinschaftsanlage „Energiepark Großradl“ bietet sowohl Chancen als auch Risiken. Als Hauptrisiko kann die Strompreisentwicklung gesehen werden. Jedoch wird die Nachfrage nach Strom immer da sein und auch stetig steigen, dadurch ist die Investition in eine Photovoltaik Anlage eine sinnvolle und richtige Entscheidung.

QUELLENVERZEICHNIS

I. Literaturquellen

Becker Hans

Wirtschaftsmathematik, Problemlösung; 1. Auflage 2007, GWV-Fachverlag Wiesbaden 2007

Bettenwort Gerd,

Bereitstellung güterbewerteter Datenbasen und Module zur Einstrahlungsklimatologie, OTTI Verlag, Regensburg, 2008,

Eilenberger, Guido

Betriebliche Finanzwirtschaft, Einführung in Investition und Finanzierung, Finanzpolitik und Finanzmanagement von Unternehmen, 6. Auflage, R. Oldenbourg Verlag München, Wien 1997

Frühwald Othmar, Pokorny Daniela

Leitfaden Photovoltaische Anlagen, Landesenergieverein Steiermark 2008, Gratwein 2008

Hagemann Ingo B.

Gebäudeintegrierte Photovoltaik, 1. Auflage, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Aachen 2002

Haselhuhn Ralf

Photovoltaik: Gebäude liefern Strom, 1. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Karlsruhe 2010

Haselhuhn Ralf, Berger Frauke, Hemmerle Claudia

Photovoltaische Anlagen, Leitfaden für Elektriker, Dachdecker, Fachplaner, Architekten und Bauherren, 1. Auflage, DGS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Berlin 2002

Heinen, Edmund / Dieter, Bernhard

Industriebetriebslehre, Entscheidungen im Industriebetrieb, 9. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 1991

Hennicke Peter, Fishedick Manfred

Erneuerbare Energien, Verlag C.H. Beck, München 2007

Hunfeld Rainer

Einfluss der Stringverschattung auf die Ertragssimulation in PV*SOL, OTTI, Regensburg 2008

Kellner Thomas

Erneuerbare Energien im Mehrfamilienhaus, Diplomica Verlag GmbH, Hamburg 2009

Kruck Christian

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, 1.Auflage, Stuttgart 2002

Middendorf Stefan

Wirtschaftliche Betrachtung von Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung des neuen Energie-Einspeise-Gesetz; 1. Auflage, GRIN Verlag, Nordstedt 2004

Molitor Patrick

Der Photovoltaikanlagen Projektleitfaden: Solaranlagen Grundwissen von A-Z; 1. Auflage, Diplomica Verlage GmbH, Hamburg 2009

Olfert Klaus, Rahn Horst-Joachim

Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 9. Auflage, Friedrich Kiehl Verlag GmbH, Ludwigshafen 2008

Perridon Louis, Steiner Manfred

Finanzwirtschaft der Unternehmung, Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, 8. Auflage, Verlag Franz Vahlen München 1995

Quaschnig Volker

Erneuerbare Energien und Klimaschutz, 1. Auflage, Carl Hanse Verlag, München 2008

Scheer Hermann

Solare Weltwirtschaft, 5. Auflage, Verlag Antje Kunstmann, München 2002

Schierenbeck Henner, Wöhle Claudia B.

Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre, 17. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München 2008

Wagemann Hans-Günther, Escherich Heinz

Photovoltaik, Solarstrahlung und Halbleitereigenschaften, 1. Auflage, B.d. Teubner Verlag, Wiesbaden 2007

Wagner, Andreas

Photovoltaik Engineering, 3. Erweiterte Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2010

Wöhe Günter, Döring Ulrich

Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 23.Auflage, Verlag Franz Vahlen GmbH, München 2008

II. Internetquellen**Beratungsstellen und Organisationen**

www.pvaustria.at	Bundesverband Photovoltaic Austria
www.nachhaltigwirtschaften.at	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
www.verwaltung.steiermark.at	Amt der Steirischen Landesregierung
www.raumplanung.steiermark.at	steirisches Raumordnungsgesetz
www.bauordnung.at	Steirisches Baugesetz
www.energiesparhaus	Energiesparhaus
www.tu-chemnitz.de	Technische Universität Chemnitz

Förder- und Finanzierungseinrichtungen

www.sparkasse.at	Erste Bank der österreichischen Sparkassen AG
www.stadtwerke-bruck.at	Stadtwerke Bruck GmbH

Internet Informationsdienste

www.iundm.de	i&m Internet Marketing GbR
--	----------------------------

www.solarwaerme.at	Onlinezeitschrift Solarwärme
www.it-infothek.de	IT-Infothek
www.photovoltaikeu.eu	Onlinezeitschrift Photovoltaik
www.klimawandel-global.de	Verein Klimawandel Global
www.oekonews.at	Ökonews Österreich

Hersteller und Lieferanten

www.sma.de	SMA Solar Technology AG
www.solar-track.de	Solar Track GmbH
www.fronius.at	Fronius Österreich GmbH
www.sanyo.com	Sanyo Electric Co, Ltd
www.deutschebp.de	BP-Deutschland
www.lexolar.de	leXolar GmbH
www.solarone.de	Solarone Deutschland AG
www.alectron.ch	lectron GmbH

III. Schriften, Zeitschriften

Bundesverband Photovoltaik Österreich Newsletter März 2004

Photon, Das Solarmagazin, 02/2007, Solar Verlag GmbH, Aachen, 2007

Photon, Das Solarmagazin, 11/2007, Solar Verlag GmbH, Aachen, 2007

Der Standard, Fachbeitrag Steiner Christian: Mit der Sonne wächst die Wonne, Ökosolares Bauen und Wohnen, Bautrends, Wien, Februar 2008

Anhang 1:

Detail Investitionskostenberechnung

Menge	Material	Einzel- preis [€]	Gesamt- preis [€]
84 Stk	Sanyo HIT 235Wp Hochleistungsmodule	710,80	59.707,20
3 Stk	Fronius IG-Plus 70 Wechselrichter mit Freischaltgehäuse	3475,81	10.427,43
3 Pau	Solar-Track Nachführsystem inkl. Fundament und Installationsmaterial	11.622,12	34.866,37
1 Pau	Montagearbeiten	5925	5.925,00
1 Pau	Planungskosten	5000	5.000,00
Summe Investitionskosten excl. USt.			115.926,00

Anhang 2:

Strompreisentwicklung

Jahr	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Jän.10	Feb.10	Mär.10	Apr.10
BEWAG	0,176	0,165	0,172	0,186	0,182	0,184	0,177	0,177	0,177	0,177
Energie AG	0,169	0,172	0,173	0,184	0,177	0,177	0,191	0,191	0,191	0,191
EVN	0,155	0,157	0,166	0,179	0,180	0,195	0,194	0,194	0,194	0,194
Energie Graz GmbH	0,154	0,156	0,160	0,174	0,176	0,181	0,175	0,175	0,175	0,175
Innsbrucker KB	0,139	0,141	0,142	0,157	0,155	0,163	0,164	0,166	0,166	0,166
KELAG	0,161	0,156	0,165	0,175	0,181	0,182	0,185	0,178	0,178	0,178
Energie Klagenfurt GmbH	0,136	0,143	0,146	0,160	0,154	0,156	0,158	0,158	0,158	0,158
Linz AG	0,164	0,166	0,165	0,174	0,171	0,169	0,185	0,185	0,185	0,185
Salzburger AG	0,165	0,165	0,169	0,175	0,173	0,171	0,168	0,168	0,174	0,174
Steweag- STEG	0,171	0,168	0,176	0,191	0,195	0,195	0,194	0,193	0,193	0,193
Tiwag	0,145	0,147	0,146	0,159	0,158	0,159	0,159	0,161	0,161	0,161
VKW	0,138	0,140	0,158	0,169	0,170	0,170	0,167	0,167	0,167	0,167
Wien Energie	0,147	0,153	0,159	0,177	0,182	0,197	0,195	0,195	0,195	0,195
Mittelwert	0,155	0,156	0,161	0,174	0,173	0,177	0,178	0,178	0,178	0,178
Gewichtung		5%	10%	20%	25%	40%				
gewichtete prozentuelle Strom- preisänderung		0,01%	0,34%	1,55%	-0,04%	0,78%				
Summe= 2,65%										

Anhang 3:

Entwicklung Inflation

Inflationsrate			
	Inflation	Gewichtung	Gewichtete Inflation
1990	3,30		
1991	3,30		
1992	4,10		
1993	3,60		
1994	3,00		
1995	2,20		
1996	1,90		
1997	1,30		
1998	0,90		
1999	0,60		
2000	2,30		
2001	2,70		
2002	1,80		
2003	1,30		
2004	2,10	0,10	0,21
2005	2,30	0,10	0,23
2006	1,50	0,10	0,15
2007	2,20	0,15	0,33
2008	3,20	0,17	0,54
2009	0,50	0,18	0,09
2010	1,80	0,20	0,36
2011	2,10		
			1,91%

Quelle: <http://www.wko.at/statistik/prognose/inflation.pdf>

Anhang 4:

Interne Zinsfußmethode: Berechnung Barwert mit 6%

Jahr	Einzahlung [€]	Auszahlung [€]	Abf 6%	Summe
1	9.866,05	1.543,40	0,9434	7.851,56
2	9.826,59	1.574,27	0,8900	7.344,54
3	9.787,28	1.605,75	0,8396	6.869,37
4	9.748,13	1.637,87	0,7921	6.424,09
5	9.709,14	1.670,63	0,7473	6.006,84
6	9.670,30	1.704,04	0,7050	5.615,90
7	9.631,62	1.738,12	0,6651	5.249,63
8	9.593,10	1.772,88	0,6274	4.906,50
9	9.554,72	1.808,34	0,5919	4.585,07
10	9.516,50	1.844,51	0,5584	4.284,00
11	9.478,44	1.881,40	0,5268	4.002,03
12	9.440,52	1.919,02	0,4970	3.737,96
13	9.402,76	1.957,40	0,4688	3.490,68
14	6.421,82	1.996,55	0,4423	1.957,30
15	6.565,63	5.536,48	0,4173	429,43
16	6.712,66	2.077,21	0,3936	1.824,73
17	6.862,98	2.118,75	0,3714	1.761,84
18	7.016,67	2.161,13	0,3503	1.701,11
19	7.173,80	2.204,35	0,3305	1.642,47
20	7.334,45	2.248,44	0,3118	1.585,84
21	7.498,70	2.293,41	0,2942	1.531,16
22	7.666,63	2.339,28	0,2775	1.478,37
23	7.838,31	2.386,06	0,2618	1.427,38
24	8.013,84	2.433,78	0,2470	1.378,16
25	8.193,31	2.482,46	0,2330	1.330,62
Summe	212.523,95	52.935,53		88.416,55

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist, insbesondere dass ich alle Stellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen sind, durch Zitate als solche gekennzeichnet habe. Weiterhin erkläre ich, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat.

Weiteres versichere ich, dass die von mir eingereichte schriftliche Version mit der digitalen Version der Arbeit übereinstimmt.

Nauschnegg Daniel